

Markus Röhrig

**Methodische Arbeitsplatz- und Prozessanalyse in
der Akkordarbeit**

Methodische Arbeitsplatz- und Prozessanalyse in der Akkordarbeit

Markus Röhrig



Universitätsverlag Ilmenau
2015

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 7. August 2014

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Peter Kurtz
(Technische Universität Ilmenau)

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte
(Technische Universität Ilmenau)

3. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Rolf Ellegast
(Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin)

Tag der Verteidigung: 20. April 2015

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-86360-118-8 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2015000187

Coverfoto: Veit Henkel | Fakultät für Maschinenbau, TU Ilmenau

Vorwort

Die Grundlage zur Entstehung dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde mir durch den Fachgebietsleiter für Arbeitswissenschaften an der Technischen Universität Ilmenau ermöglicht. Nur durch seine großzügigen und eingeräumten Freiräume war diese berufsbegleitende Forschungsarbeit zwischen Universität und Arbeitgeber möglich. Hierfür möchte ich mich herzlichst bei Herrn **Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Peter Kurtz** bedanken.

Weiterer Dank geht an Herr Prof. Dr. rer. nat. Rolf Ellegast vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung und seine Mitarbeiter. Das IFA fungierte in dieser wissenschaftlichen Arbeit als Dienstleister für die durchgeführten Arbeitsplatzmessungen.

Dank gebührt auch der MANN+HUMMEL GmbH bzw. meinen Vorgesetzten, die mich zu jedem Zeitpunkt der Promotion unterstützt haben.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei meinem Freund, Herrn Dipl.-Ing. Stefan Krieglmeier der das Manuskript Korrektur gelesen hat.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine **Familie**, die mich auf den Weg zur Promotion unterstützt und mit Nachsicht begleitet hat.

Landshut, im April 2015

Markus Röhrig

Kurzfassung

Diese wissenschaftliche Arbeit befasst sich mit physiologischen Belastungen von Personen, die aufgrund ökonomischer Gesichtspunkte ihre Tätigkeit nach nach dem Prinzip des **Akkordlohnes** ausüben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser Entlohnungsgrundsatz einen besonderen Aspekt der Belastung darstellt. Ein weiterer Einflussfaktor ist das **Schichtsystem**, welches ebenfalls thematisiert wird.

Zur Ermittlung der individuellen physiologischen Belastung/Beanspruchung wurden die geläufigsten und der gegenwärtige **arbeitswissenschaftliche Forschungsstand an Beurteilungs- und Bewertungsmethoden** vorgestellt. Durch eine Matrixbewertung konnte für diese Untersuchung die arbeitswissenschaftlich sinnvollste Bewertungsmethode definiert werden. In dieser Arbeit war dies das **CUELA-Verfahren** und die **Leitmerkmalmethode zur Risikoabschätzung von physiologischen Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen**. Auf Basis von dadurch entstandenen Erkenntnissen zum Beispiel in Form von ungünstigen Körperhaltungen oder zu hohen Körperkräften ergaben sich Fragestellungen und wurden **Hypothesen** aufgestellt. Diese konnten im Laufe der Arbeit systematisch untersucht und beantwortet werden.

Eine Untersuchungsmethodik definierte dazu den Umfang der Erhebung. Dabei kam die **statistische Versuchsplanung** zum Einsatz. Mittels der daraus resultierenden Ergebnisse war eine Überprüfung der Hypothesen möglich. Außerdem konnten **Handlungsempfehlungen für das Unternehmen** und bestehende arbeitswissenschaftliche Defizite abgeleitet werden.

So wurde z. B. ein **Modell** entwickelt, welches eine **Kennzahlenberechnung zur physiologischen Gesamtbelastung-/beanspruchung der oberen Extremitäten** ermöglicht. Um diesen neuen Modell einen praktikablen Aspekt zu verleihen, wurde eine eigenständige **Software entwickelt**. Diese ermöglicht dem Benutzer einen effektiven Umgang unter softwareergonomischen Bedingungen.

Mit diesen Maßnahmen konnten arbeitswissenschaftliche Beiträge geleistet werden und gleichzeitig durch diverse **technische und organisatorische Maßnahmen eine Reduktion von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen** im Unternehmen erzielt werden.

Abstract

This scientific paper looks at the physiological stress of people who for economic reasons carry out **piecework**, a type of compensation which requires special consideration since it causes a particular kind of strain. **Shift work** is another key parameter discussed in the paper.

In order to define individual levels of physiological stress/strain, the author provided an overview of the most common evaluation criteria according to the **current state of scientific knowledge**, and identified the most adequate evaluation method for this research project by means of a matrix test. For the purposes of this paper, the **CUELA method** and the **Key Indicator Method** used to **calculate risks derived from physiological strain in manual work** were chosen as the most appropriate tools. Based on the results obtained (e.g. insights on unfavourable postures or excessive force), the author formulated questions and **hypotheses** which were then systematically analysed and answered in the paper.

A methodological approach was used to define the scope of the investigation with the aid of a **statistically designed experiment**, the outcome of which provided the means to examine the hypotheses. The author furthermore identified ergonomic deficits and formulated **recommendations** for the company which served as an example for the purposes of this paper, e.g. in the form of a computational **model** which can be used to **calculate the risk indicators for overall physiological strain on the upper extremities**. Adding a more practical side to this new model, matching **software was developed** with the aim of providing a user-friendly, software-ergonomic tool.

The findings and developments of this paper are a contribution to the discipline of work-related science and offer several **technical and organisational measures to reduce physiological stress/strain** in the workplace.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
Kurzfassung.....	VI
Abstract.....	VII
Inhaltsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XIII
Abbildungsverzeichnis.....	XV
Abkürzungsverzeichnis.....	XVIII
Symbolverzeichnis.....	XXI
1 Einführung.....	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Motivation.....	3
1.3 Zielstellung und Lösungsansatz.....	5
2 Theoretische Grundlagen.....	6
2.1 Das Arbeitssystem am Paradigma von Akkordarbeitsplätzen.....	6
2.1.1 Die elementare Causa für das Arbeitssystem – Die Arbeitsaufgabe.....	7
2.1.2 Der Arbeitsablauf in Form repetitiver Tätigkeiten.....	8
2.1.3 Existenzielle Ressourcen zur Fabrikation von Produktionsgütern	11
2.1.4 Betriebs- bzw. Arbeitsmittel als Systemelemente im Wertschöpfungsprozess.....	12
2.1.5 Der Mensch – Das aktive Element im Arbeitssystem.....	12
2.1.6 Umgebungseinflüsse/Umwelteinflüsse: Ein substanzieller Bestandteil unserer Mitwelt.....	13
2.1.7 Diversifikation von Informationsinhalten bzw. defektiven Erzeugnissen.....	21
2.2 Zeitstudienverfahren als betriebswirtschaftliches Instrumentarium.....	21
2.2.1 Bedaux-System.....	22
2.2.2 Einzelzeitmessverfahren nach REFA.....	25
2.2.3 Parallelen zwischen beiden Zeitstudienverfahren.....	27
2.3 Software-Ergonomie.....	29
3 Forschungsstand.....	31
3.1 Physiologische Belastung/Beanspruchung in der Arbeitsausführung....	31

3.2 Schichtsysteme und ihre Konsequenzen.....	34
3.2.1 Theorien zur Schichtarbeit.....	35
3.2.1.1 <i>Der Zirkadianrhythmus unseres Körpers</i>	36
3.2.1.2 <i>Schlafdauer/Schlafqualität</i>	38
3.2.1.3 <i>Destabilisierungstheorie</i>	40
3.2.2 Die Belastung für Frauen im Schichtsystem.....	42
3.3 Fehlerentwicklungsquote in Korrelation zur Tagesrhythmik.....	43
3.4 Arbeitswissenschaftliche Vorgehensweise zur Ermittlung physiologischer Belastungen.....	45
3.4.1 Recherchemethoden.....	45
3.4.1.1 <i>Arbeitsmedizinisches Datenmaterial</i>	45
3.4.1.2 <i>Staatliche Publikationen</i>	46
3.4.1.3 <i>Statistiken von Versicherungsträgern</i>	47
3.4.2 Fragebogenerhebung.....	49
3.4.3 Sammlung relevanter/arbeitswissenschaftlicher Methoden zur Ermittlung von physiologischen Belastungen/ Beanspruchungen.....	50
3.4.3.1 <i>BodyMap-Methode</i>	50
3.4.3.2 <i>Slesina</i>	51
3.4.3.3 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i>	51
3.4.3.4 <i>Risikobewertung nach Kilbom</i>	52
3.4.3.5 <i>Leitmerkmalmethode</i>	53
3.4.3.6 <i>CUELA-Verfahren</i>	54
3.4.3.7 <i>OWAS-Verfahren</i>	55
3.4.3.8 <i>NIOSH-Verfahren</i>	57
3.4.3.9 <i>Hand-Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs)</i> ..	58
3.4.3.10 <i>OCRA-Index</i>	60
3.4.4 Zusammenfassung.....	61
4 Hypothesen.....	62
4.1 Formulierung der These zur Zeitgradvariation.....	62
4.2 Definition der Null- und Alternativhypothese zum erhöhten Ausschuss aufgrund von Nachtarbeit.....	63
4.3 Beschreibung einer Annahme bezüglich anthropometrischer Einflüsse.....	63

4.4 Beurteilungsgrad der Leitmerkmalmethode „manuelle Arbeit“ (E).....	64
5 Untersuchungsmethodik/Empirik.....	65
5.1 Empirische Parameterstudie mittels Versuchsplanung (DoE).....	65
5.2 Ausgewählte Methoden zur Erhebung der physiologischen	
Belastung/Beanspruchung.....	68
5.2.1 CUELA-Verfahren in Kombination mit Elektromyografie.....	71
5.2.2 Leitmerkmalmethode „manuelle Arbeit (E)“	79
5.2.3 Spezifisches Interview zur Lokalisierung von physiologischen	
Beschwerden während der Akkordarbeit in Schichtsystemen.....	80
6 Interpretation der Untersuchungsergebnisse.....	80
6.1 CUELA-Verfahren.....	81
6.1.1 Beurteilung der Körperhaltung, der Winkelgeschwindigkeit	
und der Mittenfrequenz.....	81
6.1.2 Zusammenfassung.....	107
6.1.3 Elektromyografische Kraftanalyse.....	109
6.1.3.1 Unterarm (Antebrachium).....	110
6.1.3.2 Kapuzenmuskel (Musculus Trapezius).....	116
6.1.4 Mikropause.....	120
6.1.5 Herzschlagfrequenz.....	121
6.1.5.1 DLG-Verhalten in Korrelation der Herzschlagfrequenz	
und der Zeitgradvariation.....	122
6.1.6 Zusammenfassung.....	130
6.2 LMM-Methodik für manuelle Arbeitsprozesse (Expertenmethode).....	130
6.3 Praxisrelevanter Abgleich zwischen beiden Verfahren.....	131
7 Bilanz zum Interview der Akkordarbeit in Kombination mit	
Schichtsystemen.....	132
8 Überprüfung der Hypothesen.....	139
8.1 These zur Zeitgradvariation.....	140
8.2 Hypothesenüberprüfung zum erhöhten Ausschuss während der	
Nacharbeit.....	141
8.3 Darstellung von anthropometrischen Differenzen.....	143
8.4 Nachweis des Beurteilungsgrades der Leitmerkmalmethode	
„manuelle Arbeit“ (E).....	145
8.5 Zusammenfassung.....	146

9 Handlungsempfehlungen zur systematischen Reduzierung der physiologischen Belastung/Beanspruchung.....	147
9.1 Jobrotation und Neustrukturierung der Reihenfolge.....	147
9.2 Schichtzeitmodelle mit arbeitswissenschaftlichem Fokus.....	149
9.3 Korrektive Ergonomie.....	151
9.4 Zusammenfassung.....	152
10 Entwicklung eines Modells zur Analyse der Gesamtbelastung/-beanspruchung der oberen Extremitäten an Akkordarbeitsplätzen....	154
10.1 Modellparameter.....	161
10.2 Softwaregestaltung.....	167
11 Zusammenfassung und Ausblick.....	168
12 Literaturverzeichnis.....	171
13 Anhang.....	181
13.1 Morbidität unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren.....	181
13.2 Zeitgradspezifizierung bzw. Zeitgradüberwachung im Unternehmen	182
13.3 Detaillierter Algorithmus zu den experimentellen Untersuchungen aus Abbildung 5.2.....	183
13.4 Terminplanung der experimentellen Untersuchungen.....	185
13.5 Probandenvergleich nach dem Modell der Gesamtbelastungs-/beanspruchungsanalyse.....	186
13.6 Lineare Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit, der Mittenfrequenz und der Körperkraft.....	188
13.7 Spezifizierung von Punktwerten für Einflussfaktoren während der Arbeitsausführung.....	191
13.8 Punktwertdefinition zur Mikropause.....	192
13.9 Manuelles Berechnungsbeispiel zur Gesamtbelastung/ -beanspruchung im Vergleich zum Softwaremodell.....	193
13.10 Berechnung der Annahme- und Ablehnungsbereiche zu den jeweiligen Hypothesen aus Kapitel 8.....	206
13.11 Interview über Beschwerden am Bewegungsapparat.....	207

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Künstliche Lichtquellen.....	17
Tabelle 2.2: Zykluszeiten diverser Arbeitsgänge.....	26
Tabelle 2.3: Beispiel für Ermittlung der Zykluszeit.....	27
Tabelle 2.4: Gestaltungsbereiche mit Beispielen in der Software-Ergonomie...30	
Tabelle 3.1: Ausschnitt aus Muskel- und Skeletterkrankungen nach Diagnoseuntergruppen.....	48
Tabelle 3.2: Richtwerte zur Bewertung nach KILBOM.....	53
Tabelle 3.3: Kategorisierung zur OWAS-Methode.....	56
Tabelle 3.4: Bestimmung des Risikos anhand des Checklistenwertes bzw. OCRA-Indexes.....	61
Tabelle 5.1: Matrixbeurteilung der vorgestellten Beurteilungs- und Bewertungsmethoden.....	68
Tabelle 5.2: Genutzte Sensortechnik während der CUELA-Messungen.....	76
Tabelle 6.1: Statistischer Auszug zum linken Unterarm (Arbeitsgang "Papierbalg einlegen" bei einem Zeitgrad von 132 %).	104
Tabelle 6.2: Zusammenfassung der Maßnahmen aus den einzelnen Messstellen.....	108
Tabelle 6.3: Teilauszug der generierten Mikropausen während der Erhebung.....	120
Tabelle 6.4: Übersicht: Lineare Abhängigkeit der Funktionen.....	129
Tabelle 6.5: Resultate der Leitmerkmalmethode (Variante 3: „manuelle Arbeit“)	131
Tabelle 8.1: Hypothesentest zur Zeitgradvariation.....	140
Tabelle 8.2: Hypothesentest: Leistungsbereitschaft versus Ausschuss.....	142
Tabelle 8.3: Tabellarischer Probandenvergleich inkl. Nullhypothesenbewertung.....	143
Tabelle 8.4: Methodenvergleich: Leitmerkmalmethode (Variante 3: „manuelle Arbeit“) - CUELA-Verfahren.....	145
Tabelle 9.1: Empfohlene Reihenfolge für Jobrotation.....	148
Tabelle 9.2: Technische/Organisatorische Verbesserungsmaßnahmen.....	152
Tabelle 10.1: Definition der Punktwerte zum Gesamtbelastung-/ beanspru chungsmodell für physiologische Belastungen/ Beanspru chungen der oberen Extremitäten an Akkordarbeitsplätzen.....	154

Tabelle 10.2: Punktwert für die Körperhaltung.....	155
Tabelle 10.3: Punktwert für den Einflussfaktor der Winkelgeschwindigkeit.....	156
Tabelle 10.4: Bewertungsgrundlage für die Mittenfrequenz.....	156
Tabelle 10.5: Zusammenfassung: Punktwertvergabe für die Körperhaltung, die Winkelgeschwindigkeit und die Mittenfrequenz.....	157
Tabelle 10.6: Punktwerttabelle für Körperkräfte.....	158
Tabelle 10.7: Punktwerttabelle für die Mikropause.....	158
Tabelle 10.8: Kräfte des Kapuzenmuskels nach HOLLMANN, STRÜDER.....	165
Tabelle 13.1: Beispiel für eine tägliche Zeitgradkontrolle im Unternehmen.....	182
Tabelle 13.2: Lineare Abhängigkeiten der Winkelgeschwindigkeit.....	188
Tabelle 13.3: Lineare Abhängigkeiten der Mittenfrequenz.....	189
Tabelle 13.4: Lineare Abhängigkeit/Punktwert für Körperkräfte.....	190
Tabelle 13.5: Zusammenfassung: Punktwert versus Körperhaltung, Winkelgeschwindigkeit und Mittenfrequenz.....	191
Tabelle 13.6: Ergebnisse/Punktwerte zur Mikropause.....	192

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Betriebliche Erfolgsfaktoren nach GUTENBERG.....	2
Abbildung 1.2: Zusammenhang AU-Tage/AU-Fälle und Lebensalter.....	4
Abbildung 2.1: Luftfilterherstellung – Layout mit den sechs ausgewählten Master-Arbeitsvorgängen.....	8
Abbildung 2.2: Aufteilung der einzelnen Lärmmessbereiche.....	13
Abbildung 2.3: Erholanteile nach BEDAUX.....	23
Abbildung 2.4: Gestaltungsbereiche der Softwareergonomie nach FÄHNRICH.....	30
Abbildung 2.5: Standardisierung von visuellen Oberflächen	31
Abbildung 3.1: Zusammenhang zwischen den Begriffen „Belastung und Beanspruchung“	32
Abbildung 3.2: Mögliche Einflussfaktoren während der Schichtarbeit.....	36
Abbildung 3.3: Schlafdauer im Schichteinsatz	38
Abbildung 3.4: Biologischer Tagesrhythmik in Korrelation zu Fehlleistungen nach BJERNER et al.....	44
Abbildung 3.5: Arbeitsunfähigkeit nach Diagnosegruppen der Frauen.....	46
Abbildung 3.6: Aufteilung der Diagnosegruppen.....	47
Abbildung 3.7: Arbeitsunfähigkeit nach Alter und Diagnosegruppen.....	49
Abbildung 3.8: Rangfolge nach Slesina.....	51
Abbildung 3.9: Berechnung des RWL nach SCHLICK.....	58
Abbildung 3.10: TLV for Hand Activity.....	60
Abbildung 5.1: Messplan der durchgeführten Arbeitsplatzbewertung.....	67
Abbildung 5.2: Algorithmus zur Untersuchungsmethodik/Empirik.....	70
Abbildung 5.3: Situatives Beispiel der Auswertesoftware WIDAAN.....	72
Abbildung 6.1: Aufzeichnungsfaktoren während der CUELA-Messungen.....	81
Abbildung 6.2: Filterelement verpacken (OEM Variante).....	83
Abbildung 6.3: Einlegen von Papierbälgen in die obere Gießform.....	85
Abbildung 6.4: Einlegen von Papierbälgen in die untere Gießform.....	85
Abbildung 6.5: Arbeitsgang: Vorvlies auflegen (Vergleich P1/P2) - Halskrümmung.....	88
Abbildung 6.6: Arbeitsgang: Vorvlies auflegen (P1) - Schultergelenk.....	99
Abbildung 6.7: Arbeitsgang: Filterelement auflegen.....	102

Abbildung 6.8: Box-Plot-Diagramm zur Winkelgeschwindigkeit des Unterarmes (Vergleich beider Probandinnen).....	103
Abbildung 6.9: Wechselwirkungsbeziehung: Arbeitsgang versus Unterarm....	111
Abbildung 6.10: Unterarm rechts/links versus Arbeitsvorgänge.....	111
Abbildung 6.11: Arbeitsvorgänge versus Zeitgrad (Unterarm).....	112
Abbildung 6.12: Haupteffekte der Kraftanalyse (Unterarm).....	113
Abbildung 6.13: Haupteffekte durch Probanden (Unterarm).....	114
Abbildung 6.14: Vorhersage für die Körperregion des Unterarmes.....	115
Abbildung 6.15: Wechselwirkungsbeziehung: Körperseite versus Arbeitsgang.....	116
Abbildung 6.16: Zeitgrad versus Körperseite (Kapuzenmuskel).....	117
Abbildung 6.17: Haupteffekte der Kraftanalyse (Kapuzenmuskel).....	117
Abbildung 6.18: Haupteffekte durch den Probanden (Sensor Trapezius).....	118
Abbildung 6.19: Vorhersage für die Körperregion des Kapuzenmuskels.....	119
Abbildung 6.20: Relation zwischen der Herzschlagfrequenz und dem Zeitgrad.....	122
Abbildung 6.21: Zusammenhang zwischen den Arbeitsvorgängen (AG 1 – AG 6) und der Herzschlagfrequenz.....	125
Abbildung 6.22: Subjektive Beschwerdereregionen aus dem Interview.....	133
Abbildung 6.23: Korrelation: Beschwerdehäufigkeit versus Akkordarbeitsjahre.....	134
Abbildung 6.24: Arbeitsplatzbezogene Übungseinheit.....	136
Abbildung 6.25: Detaillierte Darstellung der Beschwerdebereiche.....	137
Abbildung 6.26: Prozentuale Beschwerdeverteilung bezogen auf die differenzierten Arbeitsgänge.....	138
Abbildung 8.1: Längsschnittstudie: Biologische Tagesrhythmik in Korrelation zu Fehlleistungen bei MANN+HUMMEL.....	141
Abbildung 8.2: Probandenvergleich zwischen den einzelnen Faktoren.....	144
Abbildung 9.1: Beispiel eines alternativen Schichtmodells (4-Stunden- Modell).....	151
Abbildung 9.2: Ursache-Wirkungsdiagramm.....	153
Abbildung 10.1: Darstellung der untersuchten Einflussfaktoren.....	160
Abbildung 10.2: Ausschnitt der Bewertungsgrundlage für die Arbeitsumgebung.....	161

Abbildung 10.3: Definition der Greiffläche nach LANGE, WINDEL.....	163
Abbildung 10.4: Greifraumzuordnung.....	163
Abbildung 13.1: Grafische Darstellung der Morbidität mit steigendem Lebensalter.....	181
Abbildung 13.2: GANTT Diagramm: Terminplan zum Projekt.....	185
Abbildung 13.3: Probandenvergleich mittels Software "GBBA V1.0" (AG 1 - AG 3).....	186
Abbildung 13.4: Probandenvergleich mittels Software "GBBA V1.0" (AG 4 - AG 6).....	187
Abbildung 13.5: Vorabfrage: Programm GBBA V1.0.....	198
Abbildung 13.6: Tabellenblatt Arbeitsumgebung.....	199
Abbildung 13.7: Tabellenblatt: Körperhaltung.....	200
Abbildung 13.8: Tabellenblatt: Körperkräfte/Mikropause.....	201
Abbildung 13.9: Tabellenblatt: Winkelgeschwindigkeit/Mittenfrequenz.....	202
Abbildung 13.10: Tabellenblatt: Greifraum.....	203
Abbildung 13.11: Tabellenblatt: Ergebnis der Erhebung.....	204

Abkürzungsverzeichnis

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ADP	Adenosindiphosphat
AG	Arbeitsgang
AG1	Arbeitsgang 1: Papierbalg einlegen
AG2	Arbeitsgang 2: Filterelement entnehmen
AG3	Arbeitsgang 3: Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten
AG4	Arbeitsgang 4: Vorvlies auflegen
AG5	Arbeitsgang 5: Filterelement auflegen
AG6	Arbeitsgang 6: Filterelement verpacken
AT	Arbeitstempo
ATP	Adenosintriphosphat
AU	Arbeitsunfähigkeit
B	Bedaux
BauA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BDA	Bundesvereinigung Deutscher Arbeitgeberverband
BKK	Betriebskrankenkasse
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
Clo	Clothing
Conf. lev.	Confidence interval
CUELA	Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse Muskel-Skelett-Belastungen
dB(A)	Physikalische Einheit für die Schallbelastung nach Bewertungsfilter „A“
DF	Degrees of freedom (Freiheitsgrade)
DGB	Deutscher Gewerkschaftsbund
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLG	Dauerleistungsgrenze
DMS	Dehnungsmessstreifen

DoE	Design of Experiments
E_{eff}	Effektive Bestrahlungsstärke
EEG	Elektroenzephalografie
EF	Erholungsfaktor
EKG	Elektrokardiografie
EKIDES	Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System
EMG	Elektromyografie
G46	Grundsatz 46
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
HAL	Hand Activity Level
H_A	Alternativhypothese
H_0	Nullhypothese
HWS	Halswirbelsäule
IGES	Institut für Gesundheit und Sozialforschung
ISO	International Organization for Standardization
JIT	Just in time
KL	Klasse einer definierten Körperhaltung
KLS	statische Klasse einer Körperhaltung
LAN	Leiharbeitnehmer
LED	Licht emittierende Diode
LMM	Leitmerkalmethode
MAX	Maximum
MIN	Minimum
MTM	Methods-Time Measurement
MVC	Maximal Voluntary Contraction
MW	Mittelwert
N	Anzahl der Versuche
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OCRA	Occupational Risk Assessment
OES	Original Equipment Service
OEM	Original Equipment Manufacturer

OLED	Organische Licht emittierende Diode
OWAS	Ovako Working Posture Analysis System
P	Perzentil
P05	5. Perzentil
P25	25. Perzentil
P50	50. Perzentil
P75	75. Perzentil
P95	95. Perzentil
P _{exp}	exponierte Personen
PJ	Personenjahre
PW	Punktwert
Q2, Q ²	auch PRESS-Maß (Prediction of Residual Error of Squares)
RAD	Rapid Application Development
REFA	Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung
REM	Rapid eye movements
RMS	Root Mean Square
RSD	Prozentuale relative Standardabweichung
RULA	Rapid Upper Limb Assessment
R2, R ²	Bestimmtheits-Maß
S	Sensor
STAT	Statistik
TA	Technische Aktionen
TLV	Threshold Limit Value
t _{Sek}	Zeit in Sekunden
t _{Min}	Zeit in Minuten
UA	Unterarm
WFC	Work family conflict
WIDAAN	Winkel-Datenanalyse
Z	Gemessene/ermittelte Zeit

Symbolverzeichnis

<i>Symbol</i>	<i>Erklärung</i>	<i>Einheit</i>
A	Fläche	m ²
AT	Arbeitstempo	Punkte
AU _{gaM}	gewichtetes arithmetisches Mittel zum Punktwert der Arbeitsumgebung	-
AU _i	Arbeitsumgebungsindex	-
α	Signifikanzniveau	-
d λ	Differenz der Wellenlänge	μm
EF	Erholungsfaktor	%
EMG	Elektromyografie	Hz
$\overline{\text{EMG}}$	arithmetischer Mittelwert der Elektromyografie	Hz
f	Frequenz	Hz
F _{adj}	adjustierte Kraft	N
F _{adj.UA}	adjustierte Kraft des Unterarmes	N
F _{adj.KM}	adjustierte Kraft des Kapuzenmuskels	N
f _{Band}	Bandwirkungsfaktor	-
F _{Gadj.EMG}	adjustierte Gesamtkraft laut EMG	N
F _{Gi}	Gesamtkraftindex	-
F _{Greif max}	maximale Greifkraft	N
F _{KM}	Kraft des Kapuzenmuskels	N
F _{max}	Maximalkraft	N
PW _{KM}	Punktwert des Kapuzenmuskels	-
PW _{UA}	Punktwert des Unterarmes	-
GBB _{oE}	Gesamtbelastung-/beanspruchungspunktwert der oberen Extremitäten	-
GR _{PW}	Punktwert zum Greifraum	-
GR _i	Greifraumindex	-
h	Zeit	h
I	Lichtstärke	cd
KH _i	Körperhaltungsindex	-
KH _{aM}	arithmetisches Mittel der Punktwerte zur Körperhaltung	-

K_m	Strahlungsäquivalent	lm/W
$KM_{adj,EMG}$	adjustierte EMG des Kapuzenmuskel	% MVC
KK_{PW}	Gesamtpunktwert der Körperkraft	-
$(KKMP)_i$	Körperkraft- und Mikropausenindex	-
λ	Wellenlänge	μm
L	Leuchtdichte	cd/m^2
MF_E	Punktwert zur Mittenfrequenz des Ellenbogengelenkes	-
MF_H	Punktwert zur Mittenfrequenz des Handgelenkes	-
MF_i	Mittenfrequenzindex	-
MF_{PW}	Punktwert der Mittenfrequenz	-
MP_{PW}	Punktwert der Mikropause	-
MP_i	Mikropausenindex	-
MP_{IO}	Lineare Optimierung der Mikropause	-
$MP_{\bar{x}}$	Arithmetisches Mittel der Punktwerte zur Mikropause	-
MVC	Maximal Voluntary Contraction	%
μ	Erwartungswert	-
N	Grundgesamtheit	-
n	Anzahl der Stichprobe	-
ϕ_e	Strahlungsleistung	W/m^2
ϕ_v	Lichtstrom	lm
p	Überschreitungswahrscheinlichkeit	-
$P1$	Probandin 1 (5. Perzentil)	-
$P2$	Probandin 2 (95. Perzentil)	-
σ	Standardabweichung	-
T	Gesamtzeit	h
$UA_{adj,EMG}$	adjustierte EMG des Unterarmes	% MVC
VAR	Varianz	-
$V(\lambda)$	Hellempfindlichkeitsgrad	nm
ω	Winkelgeschwindigkeit	$^\circ/s$
WG_E	Punktwert für die Winkelgeschwindigkeit des Ellenbogengelenkes	-
WG_H	Punktwert für die Winkelgeschwindigkeit des Handgelenkes	-

WG_i	Winkelgeschwindigkeitsindex	-
WG_{PW}	Gesamtpunktwert für die Winkelgeschwindigkeit	-
WG_U	Punktwert für die Winkelgeschwindigkeit des Unterarmes	-
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert	-
Z	gemessene Zeit	s
z	Grenze der Normalverteilung	-
ZG	Zeitgrad	%

1 Einführung

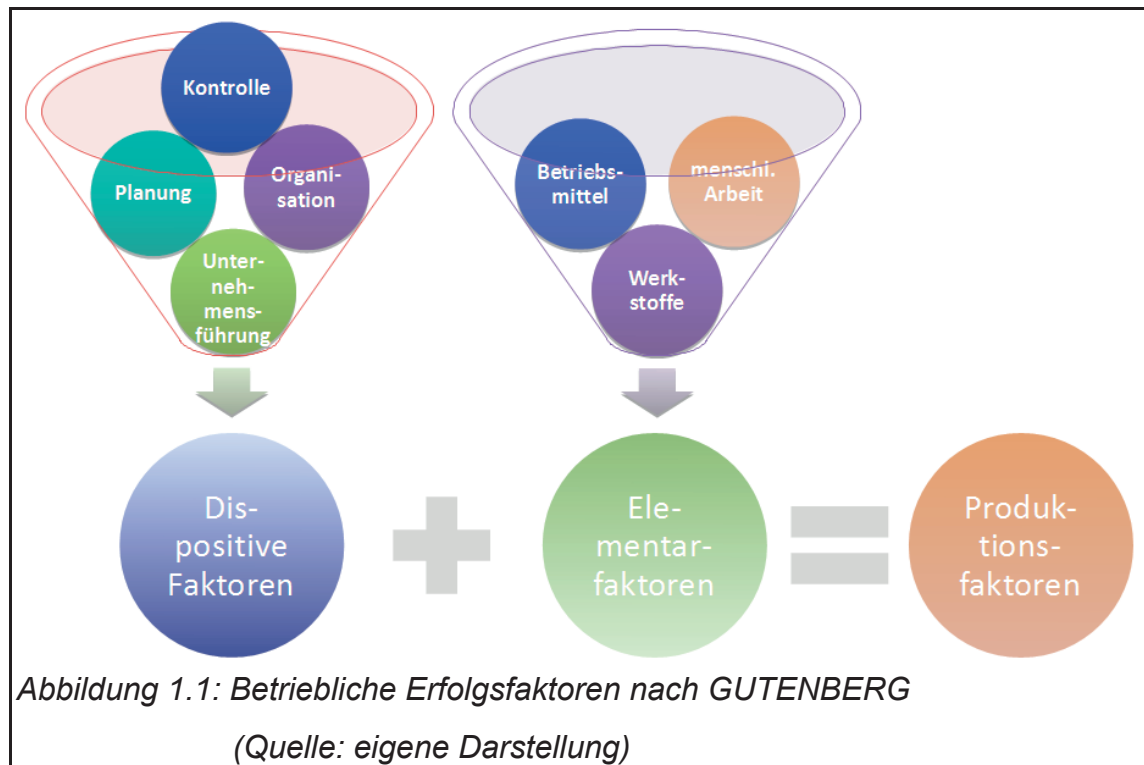
1.1 Einleitung

Durch die stetig zunehmende Globalisierung der Wirtschaftsmärkte ist gerade in Bezug auf Produkte mit geringem Marktpreis der Wettbewerb für europäische Unternehmen in exorbitantem Maße angewachsen [STAT-13], S. 39. Eine Konsequenz daraus sind schwindende Marktanteile für nationale Wirtschaftseinheiten. Um weltweite Konkurrenzfähigkeit aufrechterhalten zu können, müssen Unternehmen im produzierenden Gewerbe ihr Produktprogramm bzw. ihre Dienstleistungssegmente erweitern. Ein ausschließliches Geschäft durch das Herstellen von Konsumgütern wird für den Großteil der Unternehmen langfristig zum Misserfolg führen [LEV-12], S. 67. Für bestehende Produkte müssen Rationalisierungsmaßnahmen in Form von Senkung der Personal- bzw. Materialkosten oder Prozessoptimierungen folgen.

Bedingt durch diese Tatsache ist es von essenzieller Bedeutung, die Erfolgsfaktoren einer Wirtschaftseinheit regelmäßig hinsichtlich neuer Gegebenheiten zu überprüfen. Diese können von Unternehmen zu Unternehmen in unterschiedlichem Maße existent sein, sind allerdings ausnahmslos vorzufinden.

Abbildung 1.1 zeigt bedeutende Faktoren, die zum Erfolg des Unternehmens beitragen. Diese wurden durch den Wirtschaftswissenschaftler GUTENBERG entwickelt und haben auch heutzutage ihre Gültigkeit.

Produktionsfaktoren setzen sich aus dispositiven und Elementarfaktoren zusammen. Dispositive Faktoren sind dadurch gekennzeichnet, dass diese in der Betriebs- und Geschäftsführung angesiedelt sind [NEB-07], S. 818. Elementarfaktoren hingegen sind unmittelbar am Produktionszyklus beteiligt. Dazu zählen notwendige Werkstoffe bzw. Betriebsmittel oder die menschliche Arbeitsleistung [NEB-07], S. 231. Nur durch die Kombination beider Faktoren wird die Prozessqualität sichergestellt. [NEB-07], S. 818.



Diese Dissertation untersucht den Potentialfaktor der menschlichen Arbeit, der Gegenstand der Arbeitswissenschaft ist und näherungsweise ein Viertel der Herstellkosten im inländischen Maschinenbau zu verantworten hat [STA-10-1], S. 377.

Die Personalkosten stellen damit neben den Materialkosten das größte Einsparpotential dar. Ein ökonomischer Umgang mit der Ressource „Mensch“ ist deshalb eine Grundvoraussetzung, um Aufträge zu akquirieren und erfolgreiche Geschäfte tätigen zu können. Bedingt durch diese Tatsache haben sich verschiedenste Lohnformen in der Wirtschaft etabliert, die mittels monetärer Anreize eine Steigerung der Produktivität erzielen sollen.

Verstärkte Arbeitsteilung, Flexibilisierung betrieblicher Prozesse und erhöhter Zeitdruck sind weitere Faktoren, die unsere Mitwelt begleiten.

Der Arbeitnehmer muss diesem Anspruch gerecht werden, indem er sich **erhöhten physischen und psychischen Belastungen** aussetzt.

Wird die Grenze der maximalen Leistungsfähigkeit eines Menschen (die sogenannte DLG) überschritten, sind partielle Arbeitsermüdung und gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auszuschließen. Eine langfristige Aufrechterhaltung

dieses Zustandes führt zur physischen und psychischen Schädigung des Arbeitnehmers. Besonders ältere Mitarbeiter sind diesen Gefahren mit erhöhtem Risiko ausgesetzt. Die Folge ist ein erhöhter Krankenstand. Diese Erkenntnis zeigt auch der Gesundheitsreport des Instituts für Gesundheit und Sozialforschung (IGES) aus dem Jahr 2011 [KRA-12], S. 23.

Leider steht diese Forderung im Antagonismus mit der volkswirtschaftlichen Situation, denn die demografische Entwicklung in Deutschland wird zur Folge haben, dass bis zum Jahr 2050 die Anzahl der über 65-Jährigen um 54 Prozent anwächst [BMF-10], S. 36.

1.2 Motivation

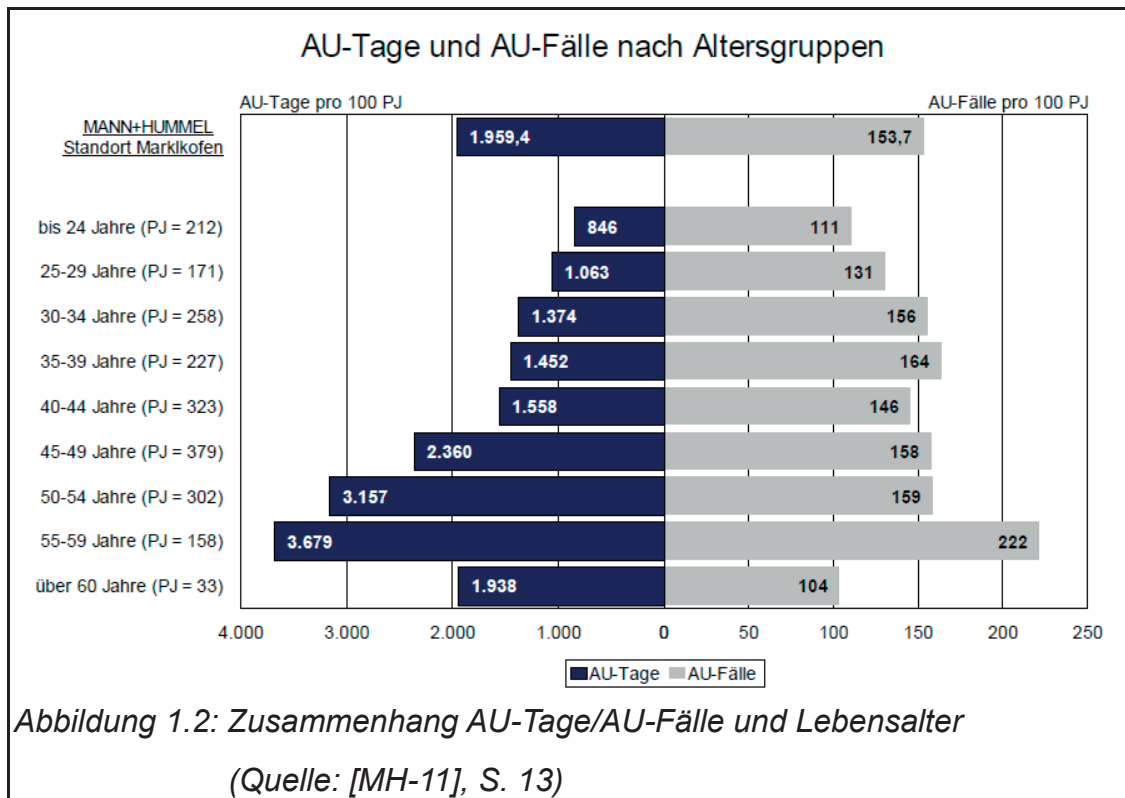
Bedingt durch die Erhöhung des Renteneintrittalters sind Arbeitsplätze an diese Fakten anzupassen. Die Forderung nach ereignisorientierten Arbeitsplätzen ist eine Konsequenz, die sich daraus entwickelt hat. Dieser Trend paralyisiert unsere Makro- und Mikroökonomie und stellt Wirtschaftssubjekte vor neue Herausforderungen.

Großunternehmen wie Daimler, Audi, BMW, BASF oder Thyssen Krupp bereiten sich mit Projekten wie Aging Workforce, Silver Line oder Generations@Work auf diese Situation vor [KOMM-07].

Auch der Automobilzulieferer MANN+HUMMEL hat dies erkannt und will deshalb dieser Entwicklung mit korrektiven und präventiven Maßnahmen entgegenwirken.

Abbildung 1.2 zeigt den Zusammenhang zwischen AU-Tagen/AU-Fällen und dem Lebensalter am niederbayerischen Standort der MANN+HUMMEL GmbH.

Die Altersgruppe der 55- bis 59-Jährigen hat mit 3.679 AU-Tagen und 222 AU-Fällen den größten Anteil an Morbidität. Nach dem 44. Lebensjahr ist ein eindeutiger Anstieg an AU-Tagen erkennbar. Vergleicht man die Personengruppe der 40- bis 44-Jährigen mit den 50- bis 54-Jährigen, so liegt der Anstieg der AU-Tage bei über 100 %. Die AU-Fälle in der Altersgruppe der 30- bis 54-Jährigen hingegen liegen im Durchschnitt bei einer Streuung von ~ 12 % (146 - 164 Vorfälle). Dies bedeutet, nicht die Fälle der Arbeitsunfähigkeit, sondern die Anzahl der Tage an Arbeitsunfähigkeit nehmen mit steigendem Lebensalter exorbitant zu.



Selbst der medizinische Fortschritt, die Verkürzung der Arbeitszeit und verbesserte Arbeitsbedingungen, die sich auf diesen Verlauf gegenläufig auswirken, werden einen Anstieg der AU-Tage nicht kompensieren können.

Vergleicht man den Krankenstand über mehrere Jahrzehnte, so ist eine rückläufige Tendenz zu erkennen. Aufzeichnungen des Bundesministeriums für Gesundheit aus dem Jahr 1998 belegen einen Krankenstand für Pflichtversicherte der Gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) von 4,13 % [BMG-12], S. 19. Die gleiche Zielgruppe beanspruchte 13 Jahre später einen Krankenstand von 3,86 % [BMG-12], S.19, für sich. Da der Rückgang im Verhältnis zum Lebensalter verschwindend gering ist, kann dieser Aspekt als irrelevant betrachtet werden, zumal diese Stagnation des Krankenstandes an weitere Faktoren, wie Wirtschaftskrisen oder betriebliche Selektionsprozesse geknüpft ist.

[BMG-12], S. 22.

Ein anderer Aspekt, der in Antithese zu Abbildung 1.2 steht, ist der Anstieg der Lebenserwartung.

Unterstellt man der Medizin, dass alle Menschen um den Zeitraum, den sie länger leben, auch länger arbeiten könnten („best-case“ Betrachtungsweise), so

wäre im Durchschnitt (Prognose für die Jahre 2010 bis 2060) jährlich mit einem maximalen Alterszuwachs von zwei Monaten zu rechnen (dabei wurde die Vor-ausberechnung für eine hohe Lebenserwartung (L2) herangezogen) [STA-09], S. 30.

Alle gegenläufigen Faktoren nehmen deshalb nur geringfügig Einfluss auf den Zusammenhang zwischen AU-Tagen und dem Lebensalter. Dieses Verhalten kann grafisch dargestellt werden und ist dieser Arbeit (Anhang 13.1) beigelegt.

Auch das Unternehmen MANN+HUMMEL muss deshalb kurz- und mittelfristig von der prognostizierten Erhöhung des Krankenstandes aus Abbildung 1.2 ausgehen.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist deshalb der Aspekt von erhöhten Personal-kosten zu berücksichtigen. **Eine Erhöhung der Krankenquote von 1,5 % bedeutet zum Beispiel für das Untersuchungsobjekt zusätzliche Personal-kosten von ~ 1,8 Millionen Euro pro Jahr [MH-11].**

Dieser Tendenz soll mit effektiven Maßnahmen entgegengewirkt werden und stellt den monetären Anreiz dieser Dissertation dar.

Die Arbeitswissenschaft unterstützt dieses Vorgehen. Mithilfe systematischer Analysen der Arbeitsprozesse und dadurch erhaltener Ergebnisse wird unter Berücksichtigung der Aspekte human (human well-being) und rationell (overall system performance) die wirtschaftlich effektivste Methode des Personaleinsatzes reflektiert [SCH-10], S. 10.

Untersucht wird die **physiologische Belastung in Abhängigkeit der Anthropometrie und der Variation des Zeitgrades an sechs unterschiedlichen Akkordarbeitsplätzen**. Diese Parameter sollen durch diese Arbeit beschrieben und in Form einer **Software für zukünftige Analysen zur Verfügung gestellt werden**.

1.3 Zielstellung und Lösungsansatz

Mittels einer methodischen Arbeitsplatz- und Prozessanalyse sollen signifikante Einflussfaktoren eruiert werden. Dafür unterliegen alle Akkordarbeitsgänge einer systematischen Untersuchung, d.h. die Beurteilung der Vorgänge erfolgt unter ergonomischen Gesichtspunkten.

Die Prozesse werden in Einzelvorgänge gesplittet mit dem Ziel, Schwachstellen und Verbesserungspotenziale zu erkennen und mit korrekativer Ergonomie entgegenzuwirken.

Aus der betrieblichen Praxis ist zu vermuten, dass es Akkordarbeitsplätze gibt, die eine überproportionale physiologische Belastung erfordern. Erste subjektive Beurteilungen (aus Zufriedenheitsumfragen im Unternehmen) bestätigen diese Vermutung, liefern aber letztendlich keinen validierten Beweis. Um eine Systematik über die Komplexität der verschiedenen Parameter (unterschiedliche Belastungen an unterschiedlichen Körperregionen aufgrund diverser Akkordarbeitsplätze, Anthropometrie (Mitarbeiter vom 5. bis 95. Perzentil), Produktivitätsschwankungen an verschiedenen Produktionslinien) zu erhalten, wurde ein Versuchsplan kreiert. Der Aufbau basiert auf statistischen Grundlagen und wurde anhand eines sogenannten DoE's (statistische Versuchsplanung) abgewickelt.

Mathematische Modelle sollen quantifizierbare Ergebnisse liefern. Aussagen über Stärken und Schwächen bzw. Risiken stellt ein Ursache-Wirkungsdiagramm dar. Dieses gewährleistet eine Transparenz des komplexen Sachverhaltes und ermöglicht die Bildung einer Kausalität.

Die aufgestellten Thesen bestätigten Arbeitsergebnisse, die aus arbeitswissenschaftlicher Sicht den wirtschaftlichsten Mitarbeitereinsatz repräsentieren.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Das Arbeitssystem am Paradigma von Akkordarbeitsplätzen

Zusammenhänge und Abhängigkeiten von einzelnen Elementen sind dem Oberbegriff „Systemelemente“ zugeordnet. Dabei können diese in sehr spartanischer Form aber auch als komplexes Gebilde auftreten. Eine weitere Unterscheidung kann nach künstlichen bzw. natürlichen Systemen erfolgen [REF-84], S. 93.

Primär wird zwischen drei Arten von Systemen differenziert:

- 1. Technische Systeme (Menschen-System)**
- 2. Soziale Systeme (Systeme und Menschen)**
- 3. Soziotechnische Systeme (Mensch-Maschine-System)**

[REF-84], S. 93

Beim Arbeitssystem handelt es sich um die hauptsächliche Nutzung des sozio-technischen Systems. Dieses wird in DIN ISO 6385:2004 beschrieben und ist „... ein System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb eines Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Aufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen.“ [REF-11], S. 19.

In den weiterführenden Unterkapiteln werden diese Systemelemente sukzessive am Beispiel von Arbeitsvorgängen der MANN+HUMMEL GmbH beschrieben.

2.1.1 Die elementare Causa für das Arbeitssystem – Die Arbeitsaufgabe

Die Arbeitsaufgabe beschreibt einen Vorgang, den eine Person zu einer definierten Zielerreichung auszuführen hat [REF-84], S. 95. Bezogen auf den Untersuchungsgegenstand werden in dieser Forschungsarbeit sechs Arbeitsaufgaben herangezogen, die unterschiedliche Anforderungen an den Menschen stellen. Die Tätigkeiten sind unter anderem hinsichtlich physischer und psychischer Belastungen differenzierbar.

Um den Aufwand der Untersuchungen handhaben zu können, wurden Referenzarbeitsvorgänge definiert. Hierbei handelt es sich um Vorgänge, die in ähnlicher Abwandlung mehrfach vorzufinden sind und somit ein Synergieeffekt für ähnliche Akkordarbeitsplätze entsteht. Dazu sind sechs Arbeitsvorgänge spezifiziert worden, die Abbildung 2.1 zu entnehmen sind und den weiteren Verlauf dieser Arbeit prägen.

mittels Flurförderfahrzeug eine Rüstvorrichtung von Position A zu Position B zu einem fest vorgegebenen Zeitpunkt [REF-84], S. 95.

Diese Person entspricht dem Systemelement „Mensch“. Das Flurförderfahrzeug ist das „Arbeitsmittel“ und bei der Rüstvorrichtung handelt es sich um das „Betriebsmittel“, welches in Verbindung mit dem Menschen den Arbeitsablauf kennzeichnet. Wird dieser Vorgang mehrfach wiederholt, handelt es sich um sogenannte repetitive Vorgänge.

Es ist hinlänglich bewiesen, dass repetitive Arbeitsabläufe zur Reduktion von Reizen führen können [RIC-89], S. 54, und diese einen ermüdungsähnlichen Zustand hervorrufen. Umgangssprachlich wird diese Eigenschaft unter dem Begriff der Monotonie deklariert [RIC-89], S. 50, und ist in der DIN-Norm 33 405 definiert. Deshalb ist es bei Tätigkeiten dieser Art von Bedeutung, dass der Mitarbeiter keiner Reizarmut unterzogen wird.

Die Monotonie ist durch eine abnehmende Wachsamkeit gekennzeichnet und die Müdigkeit hat einen sinusähnlichen Verlauf, wobei die Amplitude stetig abnimmt [RIC-89], S. 51.

Um diesen Zustand vermeiden zu können, sind folgende Gestaltungsmaßnahmen [RIC-89], S. 58, zu empfehlen:

- **Tätigkeitswechsel (Jobrotation)**
- **Mischtätigkeiten/Gruppenarbeit**

Beide Maßnahmen werden am Untersuchungsobjekt bereits berücksichtigt (durch Jobrotation, z. B. stündlicher Wechsel des Arbeitsplatzes).

Zudem sind alle Tätigkeiten so aufgebaut, dass die Arbeitsaufgabe mehrere Arbeitsinhalte enthält.

Monotonie kann aber auch durch Unterforderung entstehen. Deshalb sind Eigenschaften der Unter- bzw. Überforderung zu beachten.

Das Pendant zur Unterforderung ist die Überforderung. Sie äußert sich in Form von psychischer Ermüdung bzw. Stress, wobei die psychische Ermüdung eine Folgeerscheinung von anhaltenden Leistungsvoraussetzungen darstellt. Entgegengewirkt wird diesem negativen Effekt zum Beispiel mittels optimaler Pausengestaltung.

Der Stress hingegen kann in zwei Erscheinungsformen vorkommen:

- **Eustress**
- **Distress**

Der Eustress wird bei Mitarbeitern verursacht, wenn dieser die Arbeitsaufgabe als reelle Aufgabenstellung wahrnimmt. Die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges überwiegt bei dieser Erscheinungsform und der Stress wird positiv wahrgenommen. Der Distress verursacht Angst beim Mitarbeiter. Einer Zielerreichung wird keine Bedeutung zugesprochen. Der Körper schüttet Hormone, wie Adrenalin aus und die Herzschlagfrequenz steigt an [ROS-07], S. 15. Diese Erscheinungsform des Stresses ist schädlich und sollte vermieden werden [ROS-07], S. 15. Da die Leistungsfähigkeit von Individuum zu Individuum unterschiedlich ist (je nach individuellen Fertigkeiten und Fähigkeiten) kann eine Aufgabenstellung durchaus für den Mitarbeiter „A“ einen Distress bedeuten, hingegen beim Mitarbeiter „B“ einen Eustress verursachen. Dieser Aspekt ist von Führungskräften bei der Verteilung von Arbeitsaufgaben zu berücksichtigen.

Wie bereits erwähnt, spielt auch eine **optimale Pausengestaltung** eine entscheidende Rolle. Für eine Arbeitsausführung werden physische und psychische Ressourcen benötigt. So lange der Arbeitende den Output mit dem Input kompensiert, sollte keine körperliche Ermüdung eintreten und eine Erholungsphase ist aus arbeitswissenschaftlicher Sicht nicht erforderlich. Dieser Zustand wird auch „steady-state“ genannt [SCH-65], S. 72.

Gerade heutzutage sind Erholungspausen wesentlicher Bestandteil der Unternehmensstrategie. Durch die Verdichtung der Arbeitsabläufe und die Erhöhung der Flexibilität bezüglich der Arbeitszeiten führen Erholzeiten zur Unterbrechung von physiologischen Belastungen und geben dem Mitarbeiter eine Möglichkeit zur Regeneration. Ein weiteres Argument für den Einsatz von wiederkehrenden Erholzeiten ist die Populationsentwicklung, denn ein steigendes Lebensalter ist an bio- und psychophysiologische Körperfunktionen gekoppelt. Die Erholungsgeschwindigkeit steht im Antagonismus mit der Fähigkeit zur körperlichen Regeneration [OPP-06], S. 2-4.

2.1.3 Existenzielle Ressourcen zur Fabrikation von Produktionsgütern

Als Input gelten alle notwendigen Ressourcen, die der Arbeitsausführung dienen [REF-84], S. 95. In Bezug auf die definierten Arbeitsaufgaben können folgende Objekte den Arbeitsaufgaben zugeordnet werden:

➤	Kaufteile (z. B. Vorvliese, Faltschachteln)	Arbeitsaufgaben	(4, 6)
➤	Befestigungsmaterial (wie Klebstoffe)	Arbeitsaufgabe	(4)
➤	Information (Arbeitsanweisungen)	Arbeitsaufgaben	(1-6)
➤	Energie (Strom, Wasser, Gas, ...)	Arbeitsaufgaben	(1-6)

Die Beschaffung dieser Ressourcen erfolgt interdisziplinär. Zum Beispiel wird die Versorgung mit Kaufteilen bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen meist von organisatorisch separierten Fachabteilungen (Einkaufsabteilungen) koordiniert. Eine fachübergreifende Kommunikation ist trotz alledem von betriebswirtschaftlicher Bedeutung. Um eine auf die Zeit bezogene kurze Kapitalbindung an unfertigen Erzeugnissen zu gewährleisten, ist eine fertigungssynchrone Anlieferung von Kaufteilen bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen notwendig. Dies erfordert einen kommunikativen Abgleich zwischen Ist- und Sollbestand und erfolgt in aller Regel zwischen Logistik, Einkauf und Produktion. Für diese Art von zeitnaher Anlieferung haben sich LEAN-Prinzipien, wie die JIT Versorgung bzw. die Bevorratung nach dem Kanban-Prinzip etabliert [JUN-11], S. 907-908.

Auch alle notwendigen Arten von Informationen, die der Arbeitsausführung dienen, gehören zu dieser Gruppe von Systemelementen. Der Informationsfluss ist ein nicht zu unterschätzender Einflussfaktor im Unternehmen. Die ursprüngliche Information kommt sehr oft in abgeänderter Form beim Empfänger an und führt zu kontraproduktiven Handlungen. Ein weiteres Problem der Kommunikation in der Gesellschaft ist die Flut an Informationen, die uns Menschen oftmals mit der Priorisierung überfordert und die Prozesse im Unternehmen lähmt.

Auch die Energieversorgung gehört zum Systemelement „Eingabe“. In vielen Nationen ist Rohstoff nur partiell verfügbar und verhindert einen kontinuierlichen Produktionsprozess [SIE-07], S. 44.

2.1.4 Betriebs- bzw. Arbeitsmittel als Systemelemente im Wertschöpfungsprozess

Im vorherigen Kapitel wurde bereits für das Betriebs- und Arbeitsmittel jeweils ein Beispiel benannt. Das Arbeitsmittel ist rein systemtechnisch betrachtet das inaktive Systemelement.

Als Betriebsmittel werden alle Anlagen, Maschinen und sonstige Einrichtungen bezeichnet, die an der Arbeitsaufgabe beteiligt sind. In dieser Expertise sind dies Fließbandmontagelinien mit den dazugehörigen Beistellmaschinen und Rüstwerkzeugen [REF-84], S. 96.

2.1.5 Der Mensch – Das aktive Element im Arbeitssystem

Betrachtet man hingegen den Menschen, ist dieser im Vergleich zum Arbeitsmittel das aktive Element. Er steuert das System und kann Vorgänge inaktiver Systemelemente auslösen [REF-84], S. 96.

Menschen werden in der Arbeitswissenschaft in differenzierte anthropometrische Bereiche klassifiziert.

Unter Anthropometrie wird die Gestaltung eines Arbeitssystems unter wissenschaftlichen Aspekten und unter Berücksichtigung der Maßverhältnisse des menschlichen Körpers verstanden. Ziel ist eine ergonomisch optimale Konstellation im Mensch-Maschine-System [SCH-10], S. 1028-1037, zu finden. Dazu wurde der Mensch in Perzentile unterteilt (5. - 95. Perzentil). Ausführliche Informationen dazu sind der DIN 33 402 – Teil 2 [JUE-04], S. 14-82, zu entnehmen.

In diesem Zusammenhang darf auch der Einsatz von sogenannten Leiharbeitnehmern (LAN) nicht unerwähnt bleiben. Durch Differenzen hinsichtlich des Arbeitsvertrages im Vergleich zum festangestellten Personal sind unterschiedliche Ausprägungen der Leistungsbereitschaft vorzufinden, die direkten Einfluss auf die Wertschöpfung haben. Der Einsatz dieser Personengruppe hat Vorzüge aber auch Nachteile. Diese müssen beim Einsatz dieser Personengruppe berücksichtigt werden. Für vertiefende Informationen zur Leiharbeit wird Literatur von [HER-09] empfohlen.

2.1.6 Umgebungseinflüsse/Umwelteinflüsse: Ein substanzieller Bestandteil unserer Mitwelt

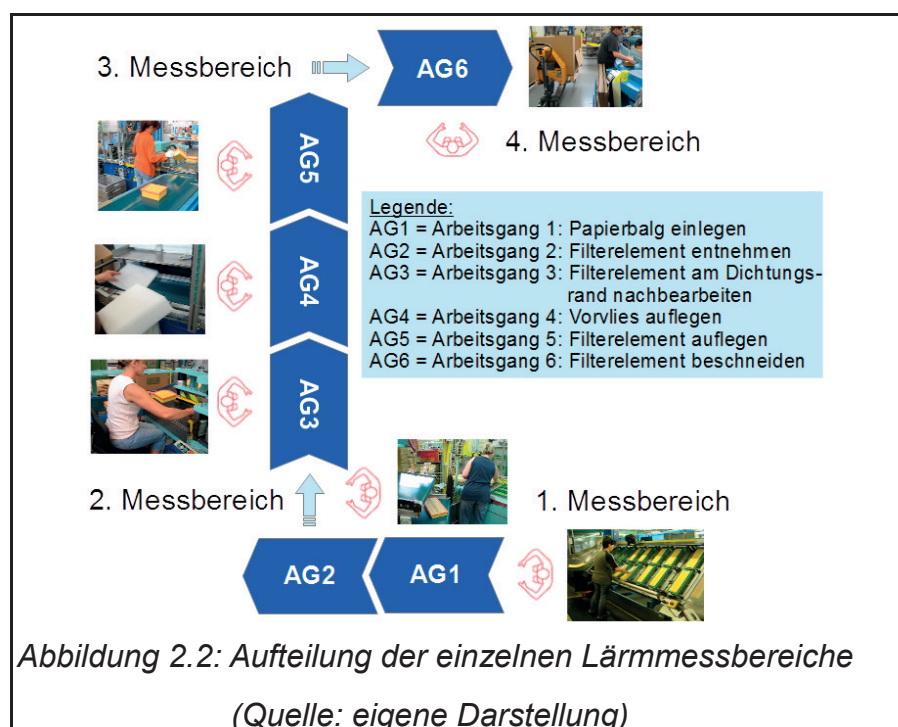
Eine Vielzahl von Faktoren aus **physikalischen, chemischen aber auch biologischen Eigenschaften** wirken auf den Menschen im Arbeitsalltag ein. In der Arbeitswissenschaft werden diese Art von Eigenschaften auch Belastungsfaktoren genannt und haben einen exorbitanten Einfluss auf die physiologische Belastung während der Ausführung von Arbeitsaufgaben [REF-84], S. 96.

Eine grundlegende Einteilung nach klimatischen Bedingungen, Beleuchtung, Lärm, mechanischen Schwingungen oder eventuellen Gefahrenstoffen ist möglich.

Da die Beeinflussbarkeit an Grenzen gebunden ist (aus physikalischen und monetären Gründen), werden die Parameter während der experimentellen Untersuchungen registriert, allerdings als fixe Konstanten betrachtet.

1) Lärm

Um die zusätzliche physiologische Belastung bedingt durch Lärm zu konkretisieren, wurden die in Abbildung 2.1 aufgeführten Arbeitsplätze in differenzierte Messbereiche untergliedert. Für diverse Arbeitsplätze war aufgrund der Örtlichkeiten eine Substituierung auf einen Lärmbereich möglich. Dadurch ergaben sich für das Untersuchungsspektrum vier Messbereiche.



Im ersten Messbereich registrierte das Messgerät einen Wert von 76,3 dB(A). Aufgrund umfangreicher und verdichteter Anlagentechnologie erhöhte sich dieser an der zweiten bzw. dritten Messstelle. So wurde im Bereich der zweiten Messstelle ein Messwert von 79,6 dB(A) registriert. Kritisch hinsichtlich der Lärmbelastung ist auch die dritte Messstelle mit 82,0 dB(A) zu betrachten. Grundsätzlich sind technische Einrichtungen wie Absauganlagen, Drehstromantriebe und mechanische Bauteile hierfür verantwortlich. Der vierte Messbereich ist weitgehend von komplexen Arbeitsabläufen entkoppelt, sodass hier ein reduzierter Pegel von 75,3 dB(A) gemessen wurde.

Für die dritte Messstelle sind Maßnahmen einzuleiten, die einer deutlichen Lärmreduktion dienen. Es stehen zur Zielerreichung drei Varianten zur Verfügung, die als primäre, sekundäre bzw. tertiäre Maßnahmen beschrieben werden.

a) Primäre Maßnahmen

Hierbei handelt es sich um Eingriffe die eine *Lärmentstehung* verhindern [KUR-10], S. 50. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel die Reduzierung des Frequenzbereiches eines Drehstromantriebes durch Erhöhung der Bauteilgröße.

b) Sekundäre Maßnahmen

Sekundäre Maßnahmen verhindern eine *Lärmausbreitung* [KUR-10], S. 50. Ein Beispiel dazu wäre die Absorption durch Lärmdämmmatten, die den Schall absorbieren. Eine weitere Möglichkeit bieten Einhausungen/Abdeckungen, die den Schall reflektieren und somit eine Schallausbreitung unterbinden.

c) Tertiäre Maßnahmen

Sind primäre bzw. sekundäre Maßnahmen nicht möglich bzw. wirtschaftlich nicht vertretbar, ist der Einsatz von tertiären Sanktionen eine unumgängliche Bedingung für den Betreiber. Hierzu zählen *organisatorische Maßnahmen*, wie zum Beispiel der Einsatz von persönlichen Schutzausrüstungen [KUR-10], S. 50.

2) Klimagrößen

Ein weiterer signifikanter Umgebungseinfluss auf die Leistungsfähigkeit unseres menschlichen Körpers ist das Klima.

Da unser Körper homoisotherme Eigenschaften besitzt, muss dieser über das gesamte Leben einer nahezu gleichbleibenden Körpertemperatur unterliegen. Nur geringste Abweichungen vom sogenannten Behaglichkeitsbereich (Wohlfühl-

bereich) führen zu Kälte- bzw. Wärmempfindungen, die unsere geistige und körperliche Leistungsfähigkeit mindern.

Da nicht alle Parameter, die Einfluss auf unsere Körpertemperatur haben, beherrschbar sind, werden wir Menschen mit diesem Umstand alltäglich konfrontiert. In der Regel passen wir uns durch geeignete Bekleidung an die klimatischen Bedingungen an, allerdings ist der Grad der Beeinflussung auch an Grenzen gebunden [SCH-93], S. 276-282.

Im Wesentlichen sind folgende Klimagrößen hierfür verantwortlich:

a) Lufttemperatur

Unter Lufttemperatur wird die abgegebene Luft im Messbereich verstanden. Ursprünglich wurde als Einheit das Kelvin (K) eingeführt, allerdings wurde diese physikalische Einheit durch die heute weitaus geläufigere SI-Einheit Grad Celsius (°C) verdrängt. Gemessen wird die Lufttemperatur entweder mithilfe eines Flüssigkeits- oder Widerstandsthermometers mittels Volumenänderung.

b) Luftfeuchte

Geläufig ist in diesem Zusammenhang der Begriff der relativen Luftfeuchte [%]. Diese beschreibt das Verhältnis von der vorhandenen Luftfeuchte zur maximalen Luftfeuchte [BEL-10], S. 7-8. Eine 100 % relative Luftfeuchte würde demnach bedeuten, dass die Umgebung vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist. Das Phänomen an der Thematik ist, dass der Mensch kein Sensorium zur Wahrnehmung der relativen Luftfeuchte besitzt, diese aber einen Einfluss auf die Behaglichkeit und somit auch indirekt auf die Leistungsfähigkeit hat.

Unser Körper ist stetig damit beschäftigt, Wärme in Form von Verdunstung, Strahlung und Konvektion abzugeben. Durch den Zustand von trockener Luft wird dieser Vorgang begünstigt [BEL-10], S. 86.

Für alle Parameterstudien wurde ein Datenlogger verwendet, der die relative Luftfeuchte wie auch die Lufttemperatur an gleicher örtlicher Umgebung und zum gleichen Zeitpunkt protokolliert hatte.

In diesem Kontext kommt eine weitere Größe zum Tragen, die zur weiteren Untersuchung vonnöten ist. Das Verhältnis aus der Masse des Wasserdampfes zu einem definierten Luftvolumen wird als absolute Luftfeuchte deklariert [BEL-10], wobei das Luftvolumen in Kilogramm umgewandelt wird. Als geläufige Einheit

dient deshalb g/kg trockene Luft [BEL-10], S. 10. Hierzu haben empirisch ermittelte Untersuchungen gezeigt, dass absolute Luftfeuchtwerte, die über 12 g/kg trockene Luft liegen, als unangenehm empfunden werden [BEL-10], S. 89.

Ein Weg, um mit dem existierenden Datenbestand auf die absolute Luftfeuchte zu gelangen, ist das hx-Diagramm von MOLLIER [BEL-10], S. 22.

c) Luftbewegung

Die Luftbewegung steht in Zusammenhang mit der Trockentemperatur und dem Turbulenzgrad [EIC-98], S. 6. Unter Trockentemperatur wird die umgangssprachlich verwendete Lufttemperatur verstanden. Der Turbulenzgrad ist der Quotient aus der Standardabweichung der gemessenen Luftgeschwindigkeit zur durchschnittlichen Luftgeschwindigkeit [BauA-12-3], S. 2.

d) Wärmestrahlung

Das Übertragungsprinzip der Wärmestrahlung basiert auf der Wärmekonvektion. Dabei handelt es sich um eine elektromagnetische Strahlung, die durch einen Körper ausgestrahlt wird. Abhängig von der Wellenlänge erfolgt die Unterteilung in unterschiedliche Gruppierungen.

Als Messinstrument dient ein Globethermometer, welches die Absorption zwischen Messmittel und Messumgebung erfasst [SCH-10], S. 873.

Auch hier sei zur Vertiefung der Thematik auf Literatur von SCHLICK [SCH-10], S. 873-884, verwiesen.

3) Beleuchtung

Welche Beleuchtungsverhältnisse im Arbeitsumfeld empfohlen werden, kann aus verschiedensten DIN Normen (z. B. DIN 5034 [DIN-06] bzw. DIN 5035 [DIN-11]) entnommen werden. Da in Produktionshallen die Tagesbeleuchtung nur bedingt für die Arbeitsausführung verfügbar ist, wird dieses Defizit meistens mittels künstlicher Lichtquellen kompensiert.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen folgenden künstlichen Lichtquellen:

Temperaturstrahler	Lumineszenzstrahler
- Glühlampen	- Leuchtstofflampen (Niederdruckentladung)
- Halogenglühlampen	- Leuchtröhren (Niederdruckentladung)
- Petroleumlampen	- Natriumdampf-Niederdruckentladung
	- Quecksilberdampf-Hochdruckentladung
	- Halogenmetalllampen
	- Xenonlampen (Hochdruckentladung)
	- LED
	- OLED

Tabelle 2.1: Künstliche Lichtquellen

(Quelle: eigene Darstellung)

In der Industrie haben sich vor allem Niederdruckleuchtstofflampen durchgesetzt. Sie besitzen eine hohe Lichtausbeute, eine hohe Lebensdauer bei einer niedrigen Leuchtdichte, können in verschiedenen Lichtfarben erworben werden und stehen deshalb klar im Vorteil gegenüber anderen Lichtquellen [SCH-93], S. 193. Ein weiterer positiver Effekt ist die Flimmerfrequenz von Leuchtstofflampen. Da sich diese an die Frequenz des Wechselstromes anlehnen, liegt diese bei 100 Hz. Diese Frequenz führt für das menschliche Auge zur Verschmelzung und wird somit als „flimmerfrei“ wahrgenommen. Es ist ausschließlich der stroboskopische Effekt erkennbar, aus dem sich aber kein Zusammenhang mit Unfällen oder negativen Einflüssen für den Mitarbeiter ableiten lässt. Ein weiterer Effekt der Leuchtstofflampen ist das Elektrodenflimmern, welches oftmals mit dem Flimmern der Lampe fehlinterpretiert wird. Dieser Prozess ist an den Enden der Leuchten erkennbar und kann durch technische Maßnahmen eliminiert werden [SCH-93], S. 194-195.

Die Zukunft wird der Leuchtdiode bzw. den organischen Leuchtdioden gehören. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass dieses Leuchtmittel tageslichtähnliche Verhältnisse herstellen kann [GfA-10], S. 71. Mittels unterschiedlicher LED's mit unterschiedlichen Spektren ist eine anpassbare Lichtdynamik möglich. Eine weitere Eigenschaft ist eine hohe Lichtdichte, die zu einer starken Blendung führen kann. Dieser Nachteil wird aber durch den Einsatz unterschiedlicher LED's beseitigt. Eine Vorstudie vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation [GfA-10], S. 71-74, zeigt zwar, dass künstliches Licht auch in Zu-

kunft das natürliche Licht aus arbeitswissenschaftlicher Sicht nicht vollständig subsumieren kann, jedoch haben diese nachgeahmten Lichtrhythmen eine positive Auswirkung auf die Arbeitsleistung des Menschen. Eine geplante Studie soll hierzu noch belegbare Beweise liefern [GfA-10], S. 71-74.

a) Lichtstrom

Als Lichtstrom Φ_v [lm] wird die freigewordene Strahlungsmenge bezeichnet, die als Lichtleistung einer Lichtquelle an ihre Umgebung freigegeben wird.

Ermittelt wird dieser Wert aus dem Produkt des maximalen fotometrischen Strahlungsäquivalent K_m , der physikalischen Strahlungsleistung Φ_e und einer Funktion der Wellenlänge (λ) des spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ abhängig von λ .

$$\Phi_v = K_m \cdot \Phi_e \cdot V(\lambda) \quad 2.1$$

Das fotometrische Strahlungsäquivalent K_m ist die maximale theoretische Lichtausbeute. Monochromatisches Licht ist künstliches Licht, welches unter natürlichen Bedingungen nicht aufzufinden ist. Vielmehr kommt sogenanntes polychromatisches Licht als eine Form des Mischlichtes mit einem ausgedehnten Spektrum von Wellenlängen unter natürlichen Bedingungen vor.

Der in der Praxis auffindbare Lichtstrom, wird durch Integration über den Bereich des sichtbaren Lichts zwischen 380 nm und 780 nm quantifiziert.

$$\Phi_v = K_m \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad 2.2$$

b) Lichtstärke

Die Lichtstärke beschreibt den theoretisch eingestrahlten Lichtstrom, der in einem bestimmten Winkel verteilt wird. Durch diese Lichtverteilung entstehen Lichtverteilungskurven [KUC-01], S. 398-399.

Gemessen wird die Lichtstärke in Candela (cd). Mit der Lichtstärke wird also das Verhältnis zwischen Lichtstrom und Raumwinkel aufgezeigt. Dies bedeutet, dass bei gleichem Raumwinkel der Lichtstrom mit der Lichtstärke ansteigt [SCH-93], S. 197.

c) Beleuchtungsstärke

Eine in der Praxis geläufige Einheit ist die Beleuchtungsstärke, welche mit Lux (lx) definiert ist. Berechnet wird dieser Wert aus dem Quotient des auftretenden Lichtstromes Φ_v [KUC-01], S. 402, und der Empfängerfläche A_e .

Möglichkeiten zur Messung der Beleuchtungsstärke bietet ein sogenanntes Luxmeter, welches in elektronischer Ausführung ein breites Spektrum hinsichtlich des Messbereichs abdeckt [SCH-93], S. 199-200.

d) Leuchtdichte

Dieser Begriff beschreibt die vom menschlichen Auge subjektiv wahrgenommene Helligkeit. Dabei hängt die Leuchtdichte vom Adaptionzustand unseres Auges ab.

Ein klassisches Beispiel ist der Scheinwerfer eines Personenkraftfahrzeuges. Bei Nacht erscheint der Scheinwerfer hell, das Licht blendet das Auge. Im Vergleich dazu sind derselbe Scheinwerfer bei Tageslicht und die Beleuchtung nur merklich zu erkennen. Es haben sich die Adaptionsverhältnisse verändert, die Lichtquelle hingegen hat sich physikalisch nicht verändert.

Gemessen wird die Leuchtdichte mit einem sogenannten Leuchtdichte-Messgerät in cd/m^2 und hat das Kurzzeichen „L“. Die Leuchtdichte berechnet sich aus dem Quotienten der Lichtstärke und der leuchtenden Fläche [SCH-93], S. 195.

$$L = \frac{I}{A} \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right] \quad 2.3$$

mit I = Lichtstärke [cd]

A = Fläche [m²]

[KUC-01], S. 399

4) Gefahrstoffe

Beim Herstellprozess von Wirtschaftsgütern sind diverse Nebenstoffe notwendig. Die Nutzung dieser zusätzlichen flüssigen bzw. festen Stoffe schließt meistens den Einsatz von gesundheitsgefährdenden Arbeitsstoffen nicht aus.

Um einen regelkonformen Umgang mit diesen Arbeitsstoffen sicherzustellen, wurde eine Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) geschaffen. Diese gibt dem Nutzer die Möglichkeit, Informationen über die molekulare Zusammensetzung zu

erhalten. Weitere Zusammenhänge über Stoffeigenschaften und erforderliche Schutzmaßnahmen bei der Weiterverarbeitung der Stoffe sind ebenfalls Umfang dieser Vorschrift [HET-93], S. 338-341.

Eine weitere Differenzierung der Stoffe kann anhand von Gefährlichkeitsmerkmalen erfolgen. Hierzu hat das Chemikaliengesetz eine Einteilung in zwei Gruppen vorbestimmt. Die erste Gruppe beschreibt Merkmale, die mithilfe von physikalischen Eigenschaften den Organismus schädigen können. Weitere potenzielle Gefahr wird durch chemische Vorgänge ausgelöst.

Unterstützung bei der Detaillierung bieten die Risiko-Sätze (sogenannte R-Sätze), die in aller Regel Inhalt des Sicherheitsdatenblattes sind [DER-04], S. 6-13.

5) Mechanische Schwingungen

Umgangssprachlich werden mechanische Schwingungen auch als Vibrationen bzw. Erschütterungen, wie sie bei diversen Arbeitsgeräten aber auch Arbeitsplätzen vorkommen, deklariert. Von Bedeutung ist die Richtung der Koordinate aus der die Schwingung angeregt wird. Der Körper kann diese Schwingungen nämlich aufgrund seiner Anatomie nur in begrenztem Maße abbauen und wird deshalb in ein Feder-Masse-Dämpfer-Modell subsumiert. Dadurch ist eine transparente Darstellung der Situation möglich [SCH-10], S. 790-792.

Eine weitere Differenzierung kann nach der Einwirkungsart erfolgen. Hier unterscheidet man zwischen Hand-Arm-Schwingungen und Ganzkörperschwingungen [POP-03], S. 12.

Für die Messung mechanischer Schwingungen werden hauptsächlich Beschleunigungsaufnehmer mit seismischen Maßen und integrierten Dehnungsmessstreifen (DMS) verwendet [SCH-10], S. 796-797.

Der Schwingungsschutz wird ähnlich wie der Lärm in primären und sekundären Schwingungsschutz untergliedert. Dazu existiert ein Schwingungsschutzkatalog, der gegenwärtig aus

- **80 präventiven Maßnahmen für Hand-, Arm- bzw. Ganzkörperschwingungen und**
- **69 Lösungen zur Schwingungsminderung**

besteht [POP-03], S. 12-13.

Da für das in dieser Dissertation vorhandene Untersuchungsspektrum diese Art von Umgebungseinfluss nicht existiert, wird auf eine weitere Detaillierung dieser Thematik verzichtet. Bei Bedarf kann entsprechende Grundlagenliteratur (z. B. POPOV, 2003, [POP-03]) zu Rate gezogen werden.

2.1.7 Diversifikation von Informationsinhalten bzw. defektiven Erzeugnissen

Unter diesem Begriff versteht man Informationen und Arbeitsgegenstände, wie zum Beispiel Produktzeichnungen die genutzt bzw. verändert oder erstellt werden. In vielen Darstellungen wird dieses Element auch mit dem Begriff „Output“ definiert [REF-84], S. 95-96.

Ausschuss und Entsorgungsteile zählen ebenfalls zu dieser Art von Elementen und das aktive Element hat oftmals einen signifikanten Einfluss darauf [SCH-13], S. 4-5.

Auch arbeitswissenschaftliche Faktoren, wie biorhythmische Zyklen, können diesen ungewollten Effekt beeinflussen. Kapitel 3.2.1.1 wird diese Eigenschaft näher analysieren.

2.2 Zeitstudienverfahren als betriebswirtschaftliches Instrumentarium

Einer der Väter von Zeitstudien ist Frederick Winslow Taylor (1856 - 1915). Er schaffte die Grundlage für spätere Zeitstudien. Dazu führte er Zeitmessungen für definierte Arbeitsvorgänge aus und legte anhand der Zeitaufnahmen entsprechende Arbeitszeiten fest. Da die Ergebnisse für diese definierte Tätigkeiten starken Schwankungen (aufgrund unterschiedlicher Leistungsfähigkeit bzw. Leistungsbereitschaft der Arbeitnehmer) unterlagen, ergänzte er seine Methode mit Zuschlägen, die zur Glättung von Streuungen führten und somit den Durchschnittsmitarbeiter repräsentieren sollten. Trotz alledem verlor dieses Organisationsmodell mit steigender Technologisierung und erhöhter Mitarbeiterqualifikation an Bedeutung. Monotonie bei der Arbeitsausführung und hohe einseitige Belastungen sind nur zwei Gründe, die das Modell in den Hintergrund rückten [MEI-11], S. 8.

2.2.1 Bedaux-System

Aufbauend auf dem Taylorismus entwickelte BEDAUX (1886-1944) ein System, das die benötigte Ausführungszeit mit einem dafür gerechtfertigten Punktwert fixierte. Das System betrachtet einzelne Arbeitselemente, die der Zeitnehmer erfasst. Wird die Tätigkeit nach Empfinden des Zeitwirtschaftlers in **normaler Geschwindigkeit** ausgeführt, so wird diese mit einem **Punktwert von 60** bewertet [KUN-77], S. 7-8.

Ein Punktwert von 60 entspricht einer Schrittgeschwindigkeit von 4,2 km/h ohne Hindernisse, auf ebener Fläche und ohne jegliche Last [ROC-52], S. 15.

Mit **steigender Arbeitsgeschwindigkeit steigt auch der Punktwert** bzw. bei langsamer Arbeitsausführung fällt der Punktwert. Damit kreierte er eine eigenständige Maßeinheit für die menschliche Arbeit, die nach dem Urheber mit „B“ benannt wurde [KUN-77], S. 7-8.

Wird zum Beispiel ein Arbeitselement in 25 Sekunden ausgeführt (entspricht der gemessenen Zeit mit dem Kurzzeichen „Z“) und vom Zeitnehmer mit einem Punktwert von 75 bewertet (der Punktwert entspricht dem Arbeitstempo „AT“), also mit 15 Punkten über der Normalgeschwindigkeit, so ergäbe sich folgende Berechnung:

$$t_{\text{Sek}} = \frac{Z \cdot AT}{60 \text{ Punkte}} \quad 2.4$$

$$t_{\text{Sek}} = \frac{25,0 \text{ s} \cdot 75}{60} = 31,25 \text{ s} \quad 2.5$$

31,25 s stellen damit die benötigte Zeit für eine Arbeitsausführung bei Normalgeschwindigkeit dar [KUN-77], S. 53-54.

Dabei wurde festgestellt, dass oftmals erfahrenen Zeitwirtschaftlern das Gefühl für eine Geschwindigkeitsbeurteilung fehlt. Ausgebildete Bedaux-Ingenieure betrachten diesen Faktor sehr intensiv und weisen untereinander eine sehr geringe Streuung auf, die weniger als $\pm 5 \%$ beträgt [ROC-52], S. 15. Deshalb sollte eine Anwendung des Systems nur in Verbindung mit erfahrenen Bedaux-Anwendern erfolgen.

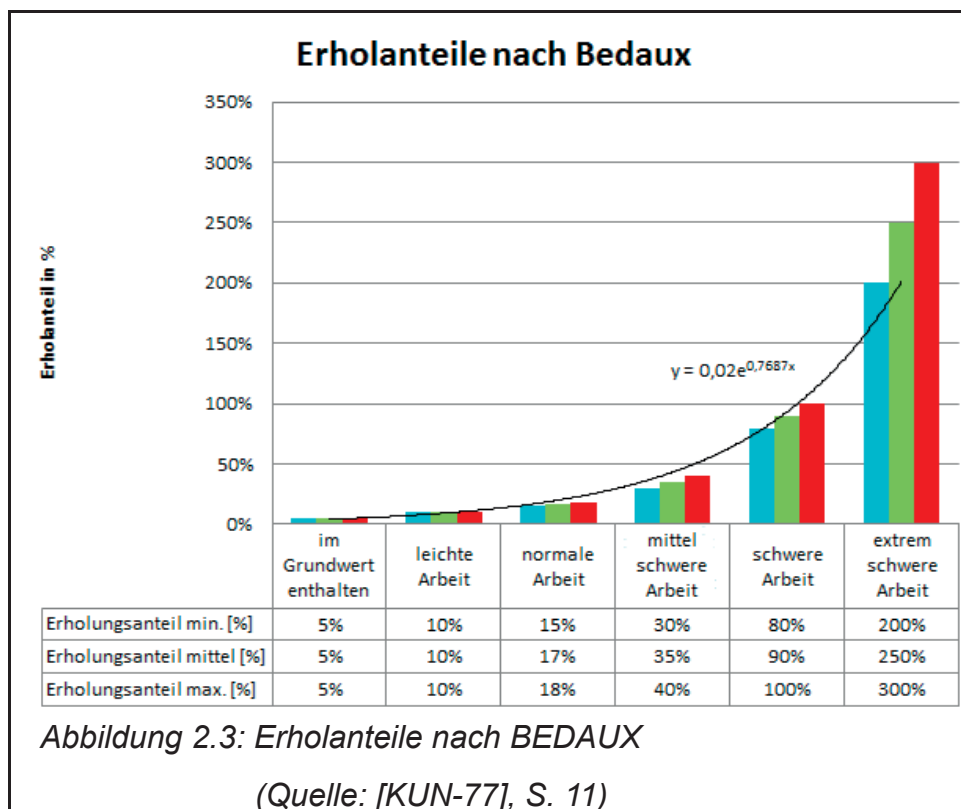
Der entscheidende Vorteil dieser Geschwindigkeitsmessung liegt darin, dass durch diesen Faktor eventuelle Verfälschungen durch absichtliches, langsames Arbeiten während der Zeitaufnahme kompensierbar sind [ROC-52], S. 16.

Da Bedaux als Einheit Minuten verwendet, ist der Wert aus Gleichung 2.5 mit 60 zu dividieren:

$$t_{\text{Min}} = \frac{31,25 \text{ s}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} \approx 0,52 \text{ min} \quad 2.6$$

[KUN-77], S. 53-54.

Diesem Wert (t_{Min}) ist ein **Erholungsfaktor (EF)** hinzuzurechnen, damit möglichst kein Erschöpfungszustand eintritt (vgl. Kapitel 2.1.2). Das System von Bedaux gesteht für die Art der Arbeit einen entsprechenden Erholungsfaktor zu, der aus Abbildung 2.3 zu entnehmen ist.



Im fiktiven Beispiel wird von einer „normalen Arbeit“ ausgegangen und deshalb ein Mindesterholungsfaktor von 15 % vergeben [KUN-77], S. 11.

$$B_{AG_x} = \frac{(EF + 100 \%)}{100 \%} \cdot t_{\text{Min}} \quad 2.7$$

$$B_{AG_x} = \frac{(15 \% + 100 \%)}{100 \%} \cdot 0,52 \text{ min} = 0,598 \text{ min} \quad 2.8$$

Für diese fiktive Tätigkeit stünde eine Gesamtzeit von ~ 36 Sekunden (entspricht in etwa 0,598 Minuten) zur Verfügung.

Das Verfahren nach Bedaux entspricht einer Zeitstudie nach dem Einzelmessverfahren, d.h. der Beobachter bewertet partielle Arbeitszyklen und summiert diese gemäß der nachfolgenden Gleichung:

$$\sum_{i=1}^n B_{AG_i} \frac{(EF_i + 100 \%)}{100 \%} = B_{AG_1} \frac{(EF_1 + 100 \%)}{100 \%} + B_{AG_{i+1}} \frac{(EF_{i+1} + 100 \%)}{100 \%} \dots$$

$$\dots + B_{AG_n} \frac{(EF_n + 100 \%)}{100 \%} \quad 2.9$$

Um auch dem Arbeitnehmer einen Anreiz für das System zu schaffen, wird diesem ab einer bestimmten Arbeitsleistung eine **Prämie** zugesichert. Die Höhe der Prämienausschüttung orientiert sich dabei an der Arbeitsgeschwindigkeit. Wird während der Zeitstudie ein Wert von über 60 Bedauxs erzielt, besteht ein Anspruch auf Prämie. Somit wird die Möglichkeit geschaffen, dass der Mitarbeiter direkten Einfluss auf sein Entgelt nehmen kann. Die Höhe des Mehrverdienstes wird linear geregelt. In diesem fiktiven Beispiel wird ein Arbeitstempo von 75 Punkten und ein Stundenlohn von 30,00 € angenommen:

$$\text{Entgelt}_{\text{Bedaux}} = \frac{\text{Stundenlohn}}{\text{Normalleistung}} = \frac{30,00 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{60 \text{ Bedaux}} = 0,5 \frac{\text{€}}{\text{Bedaux}} \quad 2.10$$

$$\text{Entgelt}_{\text{Bedaux}} = 0,5 \frac{\text{€}}{\text{Bedaux}} \cdot 75 \text{ Bedaux} = 37,5 \frac{\text{€}}{\text{h}} \quad 2.11$$

Für den Zeitraum, in dem der Mitarbeiter mit dieser Geschwindigkeit arbeitet, würde er mit 37,50 € pro Stunde entlohnt werden [ROC-52], S. 47.

Bei Erreichen bzw. Unterschreitung der 60 Bedauxs wird dem Mitarbeiter ein **Mindestanspruch auf die Bezahlung** der Normalleistung zugesichert. In diesen Beispiel hätte der Mitarbeiter die Zusicherung, dass er mindestens 30,00 € pro Stunde verdienen würde. Durch diese Vereinbarung wusste der Arbeiter, welchen Mindestlohn er am Monatsende erhalten würde [ROC-52], S. 30.

Tritt der Fall ein, dass der Mitarbeiter aufgrund von technischen Gegebenheiten (z. B. eingeschränkte Maschinenleistung) die Normalleistung nicht überschreiten kann, wird ihm ein sogenannter **Methodenzuschuss** gebilligt. Dazu stehen den Bedaux-Ingenieuren Tabellen zur Verfügung, die den zusätzlichen Aufschlag regeln (ausführliche Literatur zu diesem Thema unter [ROC-52]).

2.2.2 Einzelzeitmessverfahren nach REFA

Im Vergleich zum vorherigen System wird in diesem Kapitel die Methodik nach der REFA-Lehre vorgestellt. Der REFA-Verband hat damit ein Zeitstudiensystem entwickelt, welches als Akkordabrechnungssystem am Wirtschaftsmarkt stark verbreitet ist.

Die Entlohnung steigt mit der Mengenleistung. Als Leistungskennzahl wird der Zeitgrad [%] angewandt, der folgendermaßen definiert wird:

$$\text{Zeitgrad} = \frac{\text{Vorgabezeit zur Auftragsabwicklung}}{\text{benötigte Zeit für Auftragsabwicklung}} \cdot 100 \% \quad 2.12$$

[REF-85-2], S. 34

Dieser Parameter ist gemäß Gleichung 2.12 das Verhältnis aus der Vorgabezeit zur erreichten Istzeit bei gleicher Quantität. Ein prozentual hoher Zeitgrad erfordert demnach eine schnelle Auftragsabwicklung in Relation zur Vorgabezeit.

Um den Zeitgrad berechnen zu können, bedarf es des Wissens, wie die Vorgabezeit definiert ist. REFA beschreibt die Vorgabezeit als Produkt aus der Anzahl an Personen, die am Prozess beteiligt sind und dem Dividenden aus Engpasstakt und dem Bandwirkungsfaktor (f_{Band}) [REF-85-1], S. 288.

In den Bandwirkungsfaktor fließen Störfaktoren ein, die zu einer ungeplanten Prozessunterbrechung führen können. Dieser Wert unterliegt folgender Gesetzmäßigkeit:

$$f_{\text{Band}} \leq 1 \quad 2.13$$

[REF-85-1], S. 283

Hierzu ein fiktives Beispiel:

	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	Σ
Zykluszeit [s]	3,2	3,4	3,7	4,6	14,9
exponierte Personen	1	2	3	1	7

Tabelle 2.2: Zykluszeiten diverser Arbeitsgänge
(Quelle: eigene Darstellung)

1. Ermittlung des Engpasstaktes und Summe der exponierten Personen für manuelle Tätigkeiten:

Arbeitsgang 1 hat mit 3,2 s die kürzeste Zykluszeit und stellt somit den Engpasstakt dar.

Die Summe der exponierten Personen (P_{exp}) liegt bei 7 (vgl. Tabelle 2.2).

2. Bandwirkungsfaktor ermitteln:

- 4 % (entspricht der spezifischen Unternehmenskennzahl bei MANN+HUMMEL)

$$\rightarrow f_{\text{Band}} = 0,96$$

3. Vorgabezeit errechnen:

$$t_{\text{Vorgabe}} = \frac{\text{Engpasstakt}}{f_{\text{Band}}} \cdot \sum P_{\text{exp}} \quad 2.14$$

$$t_{\text{Vorgabe}} = \frac{3,2\text{s}}{0,96} \cdot 7 = 23,33 \text{ s} \quad 2.15$$

4. Istzeiten aufnehmen und arithmetisches Mittel verwenden:

Dazu wird unterstellt, dass im fiktiven Beispiel 25 Ist-Messungen erfolgten (siehe untenstehende Tabelle), welche einen arithmetischen Mittelwert von 19,32 s hatten.

Ist-Messung [n]	Zykluszeit [s]
Messung 1	19,01
Messung 2	19,63
Messung
Messung
Messung 25	19,45
\bar{x}	19,32

Tabelle 2.3: Beispiel für Ermittlung der Zykluszeit

(Quelle: eigene Darstellung)

5. Zeitgrad berechnen:

$$\text{Zeitgrad} = \frac{23,33 \text{ s}}{19,32 \text{ s}} \cdot 100 \% = 121 \%$$

2.16

Im diesem fiktiven Beispiel würde die Normalleistung (entspricht einem Zeitgrad von 100 %) bei einer Gesamtausführungszeit von 23,33 Sekunden liegen. Da eine durchschnittliche Istzeit von 19,32 Sekunden erzielt wurde, liegt die Leistung um das 1,21-fache über der Normalleistung und wird nach der REFA-Methodik mit einem Zeitgrad von 121 % deklariert. In Kapitel 8.1 wird die Variation des Zeitgrades betrachtet, da der Zeitgrad direkten Einfluss auf die physische und psychische Belastung des Menschen hat.

Ein Beispiel, wie der Zeitgrad in Unternehmen analysiert beziehungsweise kontrolliert werden kann ist in Anlage 13.2 ersichtlich.

2.2.3 Parallelen zwischen beiden Zeitstudienverfahren

Beide Verfahren finden vielfache Anwendung. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in folgenden Punkten:

Bei Bedaux wird der Arbeitsvorgang als fixe Konstante betrachtet. Der Bewerter fühlt sich nicht in der Rolle des Arbeitsplatzgestalters sondern bewertet den Arbeitsvorgang unter den vorzufindenden Umständen. Bei REFA erfolgt die Bewertung erst, wenn der Vorgang aus wirtschaftlichen/organisatorischen und ergono-

mischen Gesichtspunkten einen optimalen Zustand darstellt [ROC-52], S. 85-86. Weiterhin verwendet der REFA-Ingenieur für seine Zeitstudie einen Durchschnittsmitarbeiter, der einen homogenen Arbeitsfluss ausübt.

Ein weiterer Unterschied besteht bei der Verrechnung von Verlustzeiten. Bei REFA werden diese Zeiten als „Daueraufschlag“ in die direkte Arbeit mit eingerechnet. Nach Bedaux erfolgt ein separater Ausweis, der nach Prüfung dem Mitarbeiter zugesprochen bzw. verweigert wird. Bedaux verfolgt den Weg einer Verrechnung von tatsächlichen Verlustzeiten. Bei REFA findet eine Verrechnung basierend auf Erfahrungswerten bzw. der Wahrscheinlichkeit des Auftretens statt [FIE-34], S. 107.

Abweichungen, die für den Beobachter einen reduzierten bzw. erhöhten Arbeitsumfang darstellen, werden nach der REFA-Methodik mit einem Leistungsfaktor (Gleichung 2.12) bewertet. Bedaux kompensiert die Ausübung von differenzierten Arbeitsleistungen durch den Geschwindigkeitsfaktor (siehe Gleichung 2.4). Da die Geschwindigkeitsmessung zusätzlich zur Zeitmessung erfolgen muss, erhöht sich der Anspruch an den Bedaux-Ingenieur [ROC-52], S. 86-88.

Weitere Differenzen bestehen in der Verteilung der Erholungszeiten. REFA gewährt einen prozentualen Zuschlag, der auch unter dem Begriff der Verteilzeit geführt wird. Bedaux handelt diese Thematik wesentlich akribischer ab. Die Erholungszeit wird bei diesem Prinzip von der Art der Tätigkeit (siehe Abbildung 2.3) abhängig gemacht, da bei körperlich schwerer Arbeit wesentlich mehr Energie benötigt wird im Vergleich zu körperlich leichter Arbeit. Die Zuordnung dieses Zuschlages ist bedingt durch verschiedenste Energieverbräuche während der Tätigkeitsausführung wesentlich komplexer und nur von geübten Bedaux-Fachleuten korrekt anzuwenden [ROC-52], S. 88-91.

Unterschiede sich auch in der Transparenz der Zeitanteile erkennbar. REFA gliedert in Stückzeit und Rüstzeit, für deren Zeiten wiederum Haupt- und Nebenzeiten existieren. Bedaux unterscheidet ausschließlich zwischen direkten und indirekten Arbeiten. Direkte Arbeiten stehen unmittelbar mit der Herstellung des Produktes im Zusammenhang. Alle anderen Tätigkeiten, wie zum Beispiel der Rüstvorgang sind indirekte Arbeiten [ROC-52], S. 91.

Auch die Entgeltfortzahlung wird differenziert gehandhabt. Ermittelte Bedaux-Kennzahlen sind als feste Konstante zu betrachten. Kürzungen der einmal definierten Bedaux-Kennzahlen sind unzulässig. Nach der REFA-Methode wird ein Grundlohn bezahlt, der als gesichertes Einkommen zu betrachten ist. Zusätzlich erhält der Mitarbeiter ein leistungsabhängiges Entgelt, welches von Abrechnung zu Abrechnung variieren kann [ROC-52], S. 93-96.

REFA hat parallel zur Entwicklung des Zeitstudienverfahrens auch dazugehörige Schulungsangebote in ihr Dienstleistungsspektrum mit aufgenommen. Dadurch wurde die Möglichkeit geschaffen, Mitarbeiter von Unternehmen als REFA-Experten auszubilden. Bedaux betrachtet sich ausschließlich als Know-how-Träger, der Mitarbeiter für definierte Projekte in die Unternehmen entsendet. Der Bedaux-Experte ist ein externer Berater und wird nach Auftrags-/ Projektende vom Unternehmen wieder abgezogen.

Dies ist vielleicht auch einer der Gründe dafür, warum REFA heute noch weltweit vorzufinden ist. REFA hat sich stetig weiterentwickelt, so bietet der Verband ein breites Spektrum an Dienstleistungen an. Ein weiterer entscheidender Aspekt ist die Neutralität. REFA stimmt alle Planungen und Strategien konsequent mit dem Deutschen Gewerkschaftsbund (DGB) und der Bundesvereinigung Deutscher Arbeitgeberverbände (BDA) ab [REF-08].

2.3 Software-Ergonomie

Die Software-Ergonomie ist eine Teildisziplin der Ergonomie [HERC-09], S. 6. Bedingt dadurch, dass Computersysteme (z. B. Mobiltelefone, Navigationssysteme, Tablets, etc.) alle Lebensbereiche revolutioniert haben, nimmt die Gewichtung dieser Teildisziplin stetig zu [HERC-09], S. 1.

Eines der wichtigsten Ziele dabei ist, dass dem Benutzer ein hoher Grad an Gebrauchstauglichkeit (auch Usability genannt) angeboten wird. Die Basiskriterien dazu sind in ISO 9241-11 definiert (vgl. [HAR-10]) und bei Bedarf dort einzusehen.

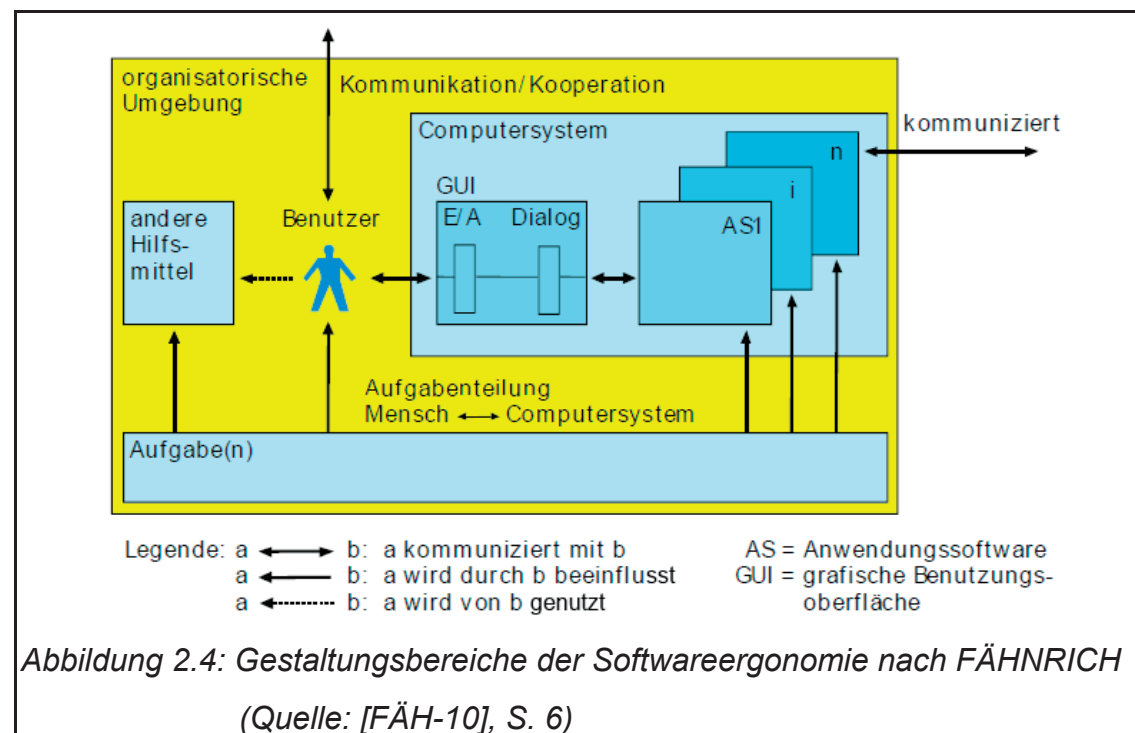
Der Nebeneffekt einer hohen Gebrauchstauglichkeit beim Benutzer äußert sich in Form von erhöhter Effektivität und verbessert die Arbeitsbedingungen für den Nutzer des Systems [FÄH-10], S. 5.

Der Gestaltungsbereich der Software-Ergonomie umfasst folgende Aufgabengebiete:

Gestaltungsbereiche	Beispiel
Anwendungssoftware	Funktionalität
Dialogsteuerung	Programmablauf
Ein- und Ausgaben	jegliche Art von Peripheriegeräten
Interaktion	zwischen verschiedenen Programmen
Bedienoberfläche/Softwaregestaltung	standardisierte Darstellung, einheitliche Bedienelemente
Arbeit	Aufgabenteilung im Mensch-Computer-System
Hardwaregestaltung	Nutzung bestimmter Produkte
Organisationsgestaltung	Kommunikation mit der Organisation

Tabelle 2.4: Gestaltungsbereiche mit Beispielen in der Software-Ergonomie
(Quelle: [FÄH-10], S. 5)

Zur Komplexität des Gestaltungsraumes soll Abbildung 2.4 einen Überblick geben:



Der Benutzer wird nicht nur durch die Aufgabenstellung beeinflusst, er steht auch in inaktiver Kommunikation mit dem Computersystem. Unterstützt wird er dabei

durch mögliche Hilfsmittel, wie zum Beispiel Literatur oder Tutorials. Eine weitere Kommunikationsschnittstelle besteht zwischen dem Benutzer und der organisatorischen Umgebung.

Hierzu soll ein Beispiel bezüglich der Nutzung von bekannten Anwendungsfunktionalitäten vorgestellt werden. Dies bedeutet, dass zum Beispiel für den Benutzer möglichst bekannte Anwendungsobjekte zum Einsatz kommen sollen.

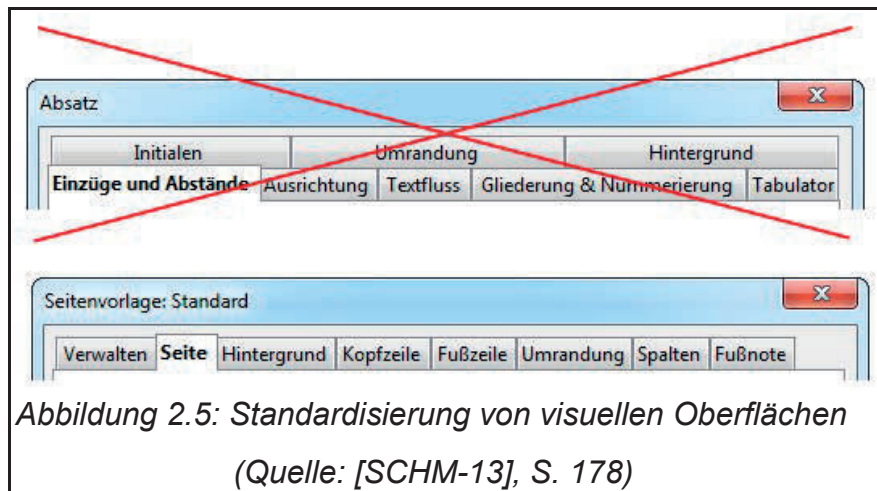


Abbildung 2.5 zeigt die Verwendung von Tabellenblättern (sogenannten TabSheets) die sich mittlerweile in unserer Umgebung etabliert haben. Das ergonomische Datenbanksystem EKIDES (**E**rgonomics **K**nowledge and **I**ntelligent **D**esign **S**ystem) empfiehlt zum Beispiel die Verwendung dieser Registerreiter in einer Zeile und nicht in mehreren Zeilen [SCHM-13], S. 178. Dies ist nur eines von vielen Beispielen, die bei der Erstellung von Programmen berücksichtigt werden sollten. Für vertiefende Informationen zu diesem Teilgebiet wird Literatur von HERCZEG [HERC-09] empfohlen.

3 Forschungsstand

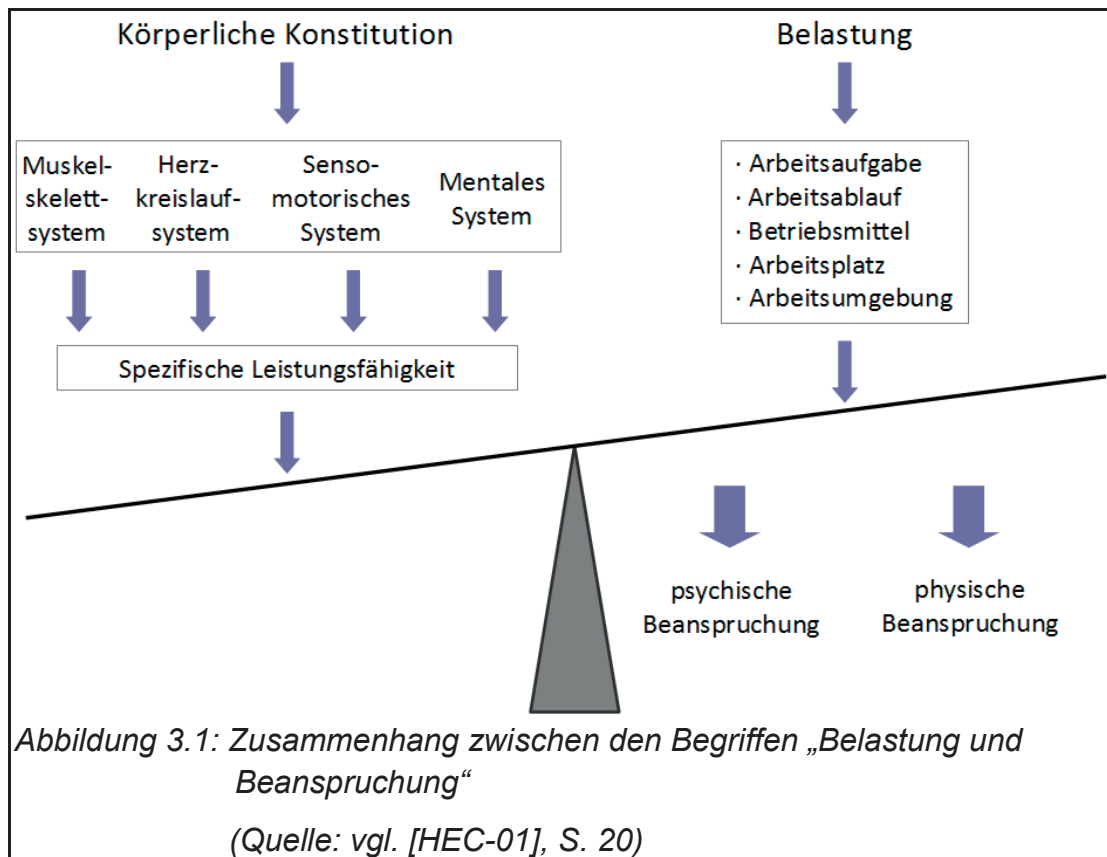
3.1 Physiologische Belastung/Beanspruchung in der Arbeitsausführung

Während der Verrichtung von Tätigkeiten ist jede Person körperlichen Belastungen ausgesetzt. Diese Belastungen werden vom Ausführenden nur partiell wahrgenommen, da dessen physische und psychische Wirkung von Person zu Person unterschiedlich ist. Je nach persönlichen Eigenschaften und Fähigkeiten

/Fertigkeiten kann eine objektive bzw. subjektive Beanspruchung in verschiedenen Ausprägungen wirken.

Abbildung 3.1 gibt Aufschluss über den Zusammenhang zwischen den Begriffen „Belastung und Beanspruchung“.

Die Belastung kann durch eine hohe spezifische Leistungsfähigkeit bzw. eine gute körperliche Konstitution kompensiert werden.



Das **Herz-Kreislauf-System** hat die Aufgabe, den Körper mit lebensnotwendigen Stoffen zu versorgen. So wird zum Beispiel der aufgenommene Sauerstoff über die Lungen zu den Muskeln transportiert und stellt die Basis zur Verrichtung körperlicher Arbeit dar. Parallel zu diesem Prozess wird durch die Energietransformation Kohlenstoffdioxid [sic!] generiert, welches über die Lunge und die Atemwege abtransportiert wird. Steigt nun der Anteil an körperlicher Arbeit an, muss unser Körper die Muskelintensität bzw. die Muskelaktivität erhöhen. Es wird mehr Sauerstoff benötigt. Da das Herzvolumen als feste Konstante zu betrachten ist, muss das Schlagvolumen ansteigen, um mehr Sauerstoff transportieren zu können. Dieses kann sich im Vergleich zum Ruhewert bis auf das

Doppelte erhöhen. Eine weitere Erhöhung der physischen Arbeitsbelastung ist somit nur noch durch die Herzschlagfrequenz kompensierbar [HEC-01], S. 7-8.

Aus diesem Grund ist die Herzschlagfrequenz eine Messgröße, die bei den Untersuchungen mit aufgenommen wurde. Die Resultate sind in Kapitel 6.1.5 dokumentiert.

In erster Linie sind physiologische Belastungen vom **Muskelskelett** zu tragen. Dieses besteht aus dem passiven System (Knochen und Gelenken) und einem aktiven System (Muskeln mit Sehnen) und ermöglicht dem Körper die Durchführung von spezifischen Bewegungen und differenzierten Körperhaltungen [HAR-13], S. 3-4. Hierbei ist ein akribisches Zusammenspiel aus Muskeln, dem Skelett und der eigentlichen Bewegungsteuerung, dem Herz-Kreislauf-System, essenziell [HAR-13], S. 21. Entscheidend ist die Vermeidung einer Muskelermüdung, da diese die Leistungsfähigkeit des Menschen einschränkt [LAU-09], S. 115.

Aus diesem Grund sind die betroffenen Akkordarbeitsplätze hinsichtlich muskulärer Belastungen/Beanspruchungen zu untersuchen. Diese Thematik wird in Kapitel 5 analysiert.

Für vertiefende Informationen zum Muskel und dessen Funktionsweise wird Literatur von HECK [HEC-90] oder HOLLMANN [HOL-09] empfohlen.

Neben den genannten physiologischen Belastungen wirken in aller Regel auch psychische Belastungen auf den Menschen ein. HECKTOR hat eine Belastungsgruppe als **sensomotorisches System** deklariert [HEC-01], S. 20. Dabei wird vorausgesetzt, dass die betroffene Person die Fähigkeit besitzt, auf Reize zu reagieren. Der situative Zustand wird von der Person erfasst und als Reiz wahrgenommen. Über Rezeptoren wird der Reiz transferiert und für das zentrale Nervensystem aufbereitet, damit eine entsprechende Reaktion erfolgen kann [LAU-09], S. 25-28.

Äußere Faktoren, wie zum Beispiel die Schichtarbeit, können den Grad der Beanspruchung verstärken und damit verbunden auch direkten Einfluss auf die Dauerleistungsgrenze nehmen. Andererseits ist jede Arbeitsausführung auch trainierbar und kann einen Teil der Beanspruchung kompensieren [KIE-05], S. 9. Auch der Zeitpunkt der Arbeitsausführung unterliegt dieser Gesetzmäßigkeit. In Kapitel 3.2 wird die Wirkung von Schichtsystemen betrachtet und analysiert.

Eine weitere Komponente der psychischen Belastungen stellt das **mentale System** dar. Es beeinflusst unser Verhalten und in diesem Zusammenhang fällt oftmals der Begriff der kognitiven Kompetenz. Darunter versteht man die Fähigkeit der Wahrnehmung, dem geistigen Aufnehmen von Informationen und dem Ablegen dieser Informationen im Gedächtnis. Weiterhin werden auch das Abrufen dieser Informationen und die Kommunikation mit anderen Menschen dem Begriff der kognitiven Kompetenz zugeordnet. Es ist zu berücksichtigen, dass diese Fähigkeiten in aller Regel mit steigendem Alter abnehmen [ILM-02], S. 202-203.

3.2 Schichtsysteme und ihre Konsequenzen

Die Schichtarbeit ist aus unserer Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Klassische Einsatzgebiete sind Kraftwerke, Raffinerien oder Hochöfen. Hier ist eine Abschaltung der Anlagen mit hohen Kosten und technischen Risiken verbunden. Es ist technisch, ökonomisch und ökologisch nicht vereinbar, solche Anlagen für acht Stunden zu betreiben und danach für 16 Stunden abzuschalten [RUT-87], S. 12. Gleiches gilt für Kernkraftwerke, deren Abschalten mit hohen Risiken verbunden ist. Eine Wiederinbetriebnahme erfordert mehrere Wochen an Vorbereitungszeit. Deshalb findet ein Stillstand dieser Anlagen nur bei gezielten (unverzichtbaren) Wartungen statt. Für diesen 24-Stundenbetrieb ist eine Tag- und Nachtarbeit essenziell.

Aus dem Mikrozensus 2010 vom Statistischen Bundesamt geht hervor, dass ~ 61 % (10.538 von 17.178 Erwerbstätigen) [STA-10-2], S. 103, aller Männer bzw. ~ 52 % (8.221 von 15.679 Erwerbstätigen) aller Frauen in Schichtsystemen beschäftigt sind [STA-10-2], S. 105.

Die Problematik trifft also keine Randgruppe, sondern ist ein geläufiges Arbeitszeitmodell, von dem jeder zweite Beschäftigte in Deutschland betroffen ist.

Aus diesem Grund wurde die Nachtarbeit, die einen Teil der Schichtarbeit abdeckt, in diversen Arbeiten genauer analysiert. Durch verschiedenste Publikationen wurde der Versuch gestartet, die Gründe für eine erhöhte Belastung zu erklären [COS-03], S. 263-288; [MOR-04] oder [HAU-11], S. 10-13. In den folgenden Unterkapiteln werden die bedeutendsten vorgestellt und erläutert.

3.2.1 Theorien zur Schichtarbeit

Verschiedene Theorien belegen, weshalb Schichtarbeit (insbesondere die Nachtarbeit) im Vergleich zur Tagarbeit gesundheitsschädigender ist. Die Arbeitszeit spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Der Mitarbeiter, der in der Frühschicht tätig ist, hat die geringste Zeitabweichung zum Tagarbeiter. Die Arbeitszeit beginnt in aller Regel etwas früher, allerdings ist davon auszugehen, dass die Schlafdauer um diese Differenz verkürzt wird. Der Arbeiter in der Spätschicht weist einen ähnlichen Zeitraum für seinen Schlaf auf wie der Tagarbeiter. Evident ist die Substitution zwischen Arbeitszeit und Freizeit. Die dritte Gruppe der Schichtarbeiter sind Mitarbeiter, die in der Nachtschicht beschäftigt sind. Der Schlaf dieser Personengruppe findet in aller Regel während der Arbeitszeit von Tagarbeitern statt. Der Anteil der Freizeit ist durch den bevorstehenden Schichtbeginn begrenzt und schränkt die individuelle Freizeitgestaltung ein [SCH-92], S. 68.

Diese Argumente alleine sind allerdings noch lange kein Indiz dafür, dass die Schichtarbeit ein erhöhtes Gesundheitsrisiko für uns Menschen darstellt. COSTA hat empirische Querschnittsstudien zusammengefasst und konnte Faktoren definieren, die durchaus einen negativen, wie auch positiven Effekt auf den Menschen ausüben können. Abbildung 3.2 zeigt diese Einflussgrößen, die auch durch das zeitliche Auftreten und ihre Dauer entsprechend wirken.



Deshalb ist es schwierig, den tatsächlichen Einfluss für bestimmte Effekte zu eruieren. Die Schichtarbeit ist ein komplexes Gebilde, welches situations- bzw. personenbedingt zu betrachten ist [COS-03], S. 270.

Drei grundlegenden Theorien zu dieser Thematik werden im Rahmen dieser Arbeit kritisch betrachtet und kommentiert.

3.2.1.1 Der Zirkadianrhythmus unseres Körpers

Menschen werden der Gruppe von tagaktiven Lebewesen zugeordnet. Erst durch technisches Equipment wird der Mensch in die Lage versetzt, auch zu un-natürlichen Tageszeiten zu arbeiten. Deshalb ist der biologische Rhythmus nicht für eine Arbeit zu Nachtzeiten geeignet [RUT-70], S. 21.

In einem Isolationsversuch konnte klar bewiesen werden, dass die Körpertemperatur und unsere Organfunktion ein periodisches Verhalten aufzeigen. Dabei fallen die Amplitudenspitzen in Wachzeiten und das Minimum in Schlafzeiten [RUT-70], S. 21-22.

Damit wurde nachgewiesen, dass unser Körper einem eigentümlichen Rhythmus unterliegt, dieser wird **Zirkadianrhythmus** genannt.

Diese zirkadiane Periodik erwerben wir nicht während der Ontogenese, sie ist uns vielmehr angeboren. Allerdings ist der tagesperiodische Reifungsprozess nicht unmittelbar nach der Geburt verfügbar. Dieser entwickelt sich im ersten Lebensjahr. Weiterhin ist bewiesen, dass die einzelnen periodischen Funktionen in unserem Organismus verschiedene Resynchronisationszeiten haben und diese zu temporärer Dissoziation führen.

Bei der Schichtarbeit wird ein Teil dieser Faktoren, die das zirkadiane System beeinflussen, verschoben. Alle anderen behalten ihre angeborene Phasenlage bei [RUT-70], S. 31-41.

So wurde nachgewiesen, dass selbst bei Dauernachtschichtarbeitern nur ein kleiner Anteil der betroffenen Personengruppe (etwa 3 %) eine vollständige Phasenverschiebung erreichen [HAU-11], S. 12. Bedingt dadurch wird der zirkadiane Rhythmus verschoben, was negative Auswirkungen auf unseren Stoffwechsel und das Zellwachstum haben kann. Ein veränderter Stoffwechselrhythmus kann als Konsequenz zu einer Insulinresistenz bzw. durch Zellwachstum zu Tumorbildungen führen [HAU-11], S. 12.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass unser Körper tagsüber ergotrope Verhaltensweisen ausstrahlt. Nachts sind wir an trophotrope Eigenschaften gebunden. Der Organismus nutzt Reserven, um die Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten. Dennoch ist von eingeschränkten Fähigkeiten auszugehen [GRA-91], S. 213.

Die analysierten Akkordarbeitsplätze sind von dieser Thematik betroffen. Die tägliche Arbeitszeit ist in drei Schichtmodelle untergliedert:

Frühschicht von 06:00 - 14:30 Uhr

Spätschicht von 14:30 - 23:00 Uhr

Nachtschicht von 23:00 - 06:00 Uhr

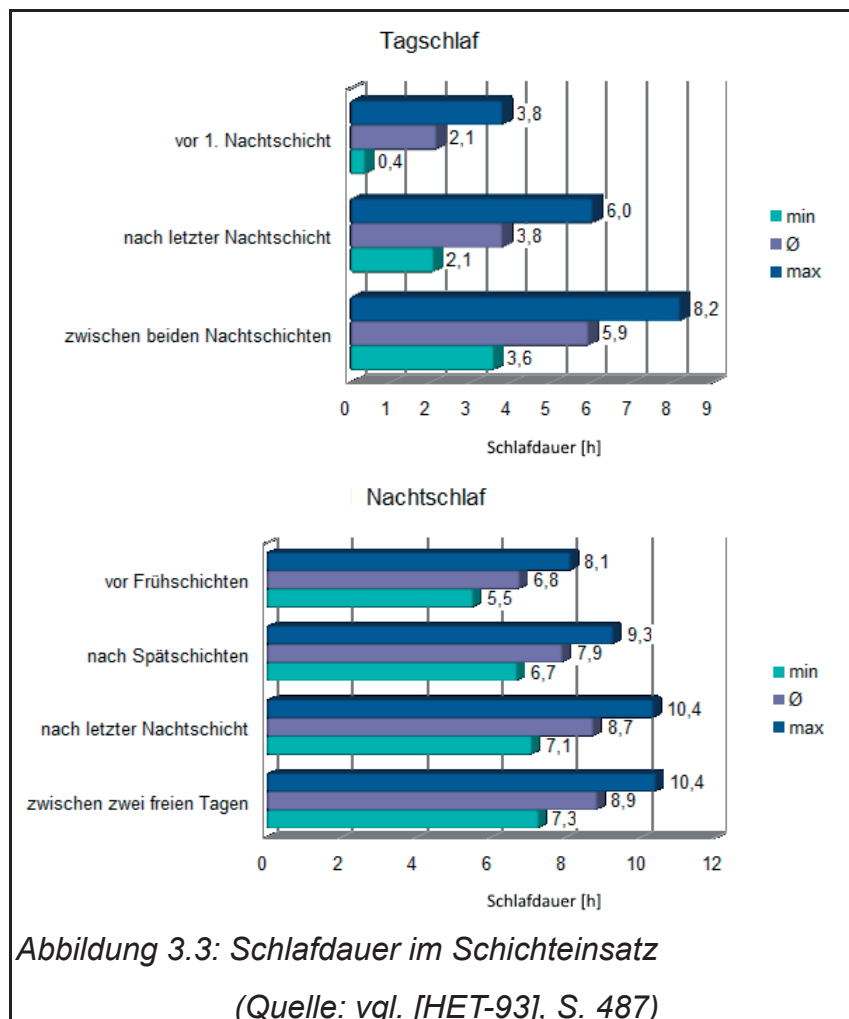
Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Früh- und Spätschicht wöchentlich wechselt. Die Nachtarbeiter arbeiten in der Regel in der Dauernachtschicht. Dies bedeutet, ein Schichtwechsel findet nicht statt.

Das System ist aufgrund der genannten Aspekte zu hinterfragen und ggf. an neue arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse (Kapitel 9.2) zu adaptieren.

3.2.1.2 Schlafdauer/Schlafqualität

Eine weitere Theorie besagt, dass die Schlafdauer und die Schlafqualität tagsüber stärker beeinträchtigt wird als zu Nachtzeiten. Anhand von Aufzeichnungen in Korrelation zwischen Schlafstörungen und Schichtrhythmen wurde gezeigt, dass die durchschnittliche Schlafdauer zwischen zwei Nachtschichten sechs Stunden betrug.

Der Verlauf von zehn aufeinanderfolgenden Schichten würde zu einer erheblichen Akkumulation von Schlafdefiziten führen. Es ist davon auszugehen, dass sich die durchschnittliche Schlafdauer nach einigen Tagen in den oberen Median verschieben wird. Eine vollständige Erholungsphase kann nicht eintreten [HET-93], S. 484-489.



Neben der Schlafdauer ist auch die Schlafqualität von Bedeutung. Die REM (rapid eye movements) des Tagschlafs sind wesentlich antizyklischer als die des Nachtschlafs. Für dieses Phänomen gibt es einige Gründe. Dadurch, dass sich die physiologischen Zirkadianrhythmen (wie bereits beschrieben) nicht vollständig dem Zeitzyklus anpassen, ist der Körper am Tag auf „Leistung“ eingestellt und kann bei Nacht nur „Leistungsreserven“ nutzen.

Aufzeichnungen am EEG zeigen, dass sich der „normale“ Nachtschlaf aus verschiedenen Phasen zusammensetzt. Alle Phasen weisen ein unterschiedliches Funktionsbild auf. Die erste Phase wird als Einschlafphase beschrieben und soll unseren Organismus in die Ruhephase manövrieren. Gefolgt vom „leichten Schlaf“, der noch keinen Erholungswert besitzt, aber auf die anstehende Schlafphase, die Tiefschlafphase, vorbereitet. Während der Tiefschlafphase ist die Person sehr schwer aufweckbar und der Organismus regeneriert sich in physischer und psychischer Sicht. Entscheidend für den Erholungseffekt ist der sogenannte REM-Schlaf, der für psychische Entspannung sorgt.

Feldversuche bestätigen, dass Schichtarbeiter dieses Schlafverhalten nicht besitzen, die Tiefschlafphasen sind weniger, was zur Folge hat, dass die Störungsanfälligkeit im Schlaf wesentlich höher ist. Auch die REM-Schlafphase ist beim Schichtarbeiter kürzer und führt zu einer geringeren psychischen Entspannung des Organismus.

Es gibt belegbare Untersuchungen, die beweisen/belegen, dass ein langfristiger Entzug der Schlafphase zu psychischen Erkrankungen, wie zum Beispiel Depressionen führen kann [COS-03], S. 264.

Durch verminderten Schlaf wird auch eine reduzierte Menge an Melatonin im Körper generiert. Dieses Hormon eliminiert freie Radikale, die eine schädigende Wirkung auf das Zellsystem haben. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass Melatonin eine präventive Wirkung auf das Wachstum von Brustkrebszellen hat [HAU-11], S. 12.

Als weiteres Beispiel soll auch das Gewebshormon Serotonin 5-HT [LEU-10] nicht unerwähnt bleiben. Hierzu haben Forscher der Universität von Buenos

Aires 683 Probanden in unterschiedlich arbeitenden Schichtsystemen untersucht. In dieser Querschnittsstudie, die 28 Tage andauerte, wurde ein stark schwankender Serotoninspiegel bei den Teilnehmern entdeckt. Die erfassten Werte des Gewebehormones waren bei Schichtarbeitern signifikant ($p=0,002$) niedriger im Vergleich zu Tagarbeitern. Dieses Hormon ist auch ein Botenstoff und kann körperliche Irregularität im Magen-Darm-Trakt, während des Schlafens und der Verdauung verursachen sowie zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen [SOO-07], S. 1049-1053.

Ein weiteres Argument für verminderte Schlafqualität bzw. Schlafdauer ist der Lärm (z. B. Straßen- bzw. Kinderlärm), der tagsüber wesentlich intensiver ist und zu unerwünschten Schlafstörungen führt [BEE-00], S. 19.

Als Folge dieser Argumente bleibt festzuhalten, dass der Erholungseffekt bei Nachtarbeitern wesentlich geringer ist als bei Tagarbeitern. Weniger Erholung bedeutet im Umkehrschluss eine reduzierte Leistungsfähigkeit.

3.2.1.3 Destabilisierungstheorie

Auch eine gültige Theorie, warum Nachtschichtarbeit ein erhöhtes Schädigungsrisiko darstellt, ist die Destabilisierungstheorie (vgl. CERVINKA in [BAU-88], S. 51-58).

Diese besagt, dass im Wesentlichen neun Faktoren die Gesundheit während der Nachtarbeit beeinflussen. Um Relationen daraus zu bilden, werden diese Faktoren in drei Bereiche eingeteilt:

- **Arbeit**
- **Familie**
- **Erholung/Schlaf**

Prägnant für diese Theorie ist, dass diese drei Faktoren in einem Gleichgewicht stehen müssen. Gerät einer dieser Bereiche aus den Fugen, so stellt sich eine Ametrie ein und es kann zu gesundheitlichen Schädigungen führen. CERVINKA et al. (1986) bezeichnet diese Situation als einen „Teufelskreis der nur sehr schwer zu kompensieren ist“.

Eine mögliche Ausprägung dieses Systems ist die „*positive Stabilität*“, die den optimalen Zustand darstellt. Alle drei Bereiche stehen in gleichen Verhältnissen zueinander.

Das Pendant zur positiven Stabilität ist die „*negative Stabilität*“. Hier sind deutliche Beeinträchtigungen zum ersten und zweiten Zeitpunkt zu erkennen. Wird eine Verbesserung in einem Bereich durch eine Verschlechterung in einem anderen Bereich kompensiert, so spricht man von der sogenannten „*dynamischen Stabilität*“. Hier ist die Spannweite gering und Störungen kompensieren sich im summarischen Mittelwert. Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist die Anzahl der betroffenen Bereiche. Zeigt mehr als ein Bereich eine Asymmetrie auf und bleibt mindestens ein Bereich positiv, handelt es sich um die „*partielle Instabilität*“. Weitere Kombinationen werden als „*generelle Instabilität*“ deklariert [BRO-86], S. 20-24.

Auf Basis dieser Grundlagen hat CERVINKA die Gruppen „Risikofaktoren“ (Rauchen, Kaffeekonsum), „Stressoren“ (Schlafstörungen) sowie „medizinische Faktoren“ (Krankenstand) untersucht. Dabei bleibt letztendlich festzuhalten, dass das Familienleben, im speziellen die Anzahl der Kinder, einen determinierender Faktor für eine Destabilisierung darstellt. Dieser Parameter steht in direktem Zusammenhang mit dem Faktor Lärm und nimmt negative Einflüsse auf den Bereich „Schlaf“. Auch eine Reihe von Persönlichkeitsmerkmalen führen zu einem erhöhten Risiko der Destabilisierung [BRO-86], S. 30.

Eine Destabilisierung steigt somit kontinuierlich mit den Schichtjahren an. Als Schlussfolgerung bleibt festzuhalten, dass bereits nach zehn Jahren der Schichtarbeit irreversible Schädigungen eintreten können. Inwieweit diese Aussage noch immer zutrifft, soll durch Kapitel 3.2.1 bestätigt/widerlegt werden.

BARNES-FARRELL, et al. führten eine globale Querschnittstudie durch [BAR-08], S. 589-596, an der 1014 Personen aus Australien, Brasilien, Kroatien und den USA beteiligt waren. Als Probanden wurden Krankenschwestern herangezogen, die in unterschiedlichen Schichtsystemen ihrer täglichen Arbeit nachgingen. Dabei fand BARNES-FARRELL heraus, dass Störungen des Familien- und Privatlebens entscheidende Aspekte für das Wohlbefinden des Menschen

sind. Das Team deklarierte diese Eigenschaft mit dem Begriff „WFC“ (**w**ork **f**ami-
ly **c**onflict) [BAR-08], S. 589-593.

Untersucht wurde auch das „physical well-being“. Hier wurden eindeutige Unter-
schiede zwischen Arbeitern aus Tagschichten im Vergleich zu Nachtschichtarbei-
tern transparent. In der Dauernachtschicht war jeder Mitarbeiter im Durchschnitt
alle 21 Tage ($p < 0,001$) arbeitsunfähig. Im direkten Vergleich dazu lag diese
Kenngröße bei Mitarbeitern der Wechselschicht bei 24 Tagen ($p < 0,05$)
[BAR-08], S. 593.

3.2.2 Die Belastung für Frauen im Schichtsystem

Mehr als die Hälfte aller Beschäftigten Frauen wird mit Schichtsystemen konfron-
tiert (siehe Kapitel 3.2), weshalb diese Thematik nicht zu neglizieren ist, zumal
die experimentellen Untersuchungen mit weiblichen Probandinnen durchgeführt
wurden.

In Deutschland ist die Situation noch immer so vorzufinden, dass Frauen den
größten Teil der Hausarbeit übernehmen, auch wenn in den letzten Jahrzehnten
ein Umdenkprozess stattgefunden hat und die Politik mittels attraktiver Angebo-
te, wie der Elternzeit oder einer Frauenquote, dieser Situation gegensteuern will.
So wird die typische Familienrolle noch über Generationen in ähnlichen Verhält-
nissen vorherrschen. Es ergibt sich deshalb für die Frau eine Doppelbelastung
zwischen Arbeit und Familie.

Ein großer Anteil von Frauen bevorzugt die Arbeit in Dauernachtschicht. Das Mo-
tiv dafür ist oftmals die Familie. Durch das Arbeiten über Nacht ist auch eine Be-
treuung von schulpflichtigen Kindern möglich. Das diese Kombination eine er-
höhte physische und psychische Belastung darstellt, wird dabei verharmlost und
in den Hintergrund gestellt. Viele arbeitende Mütter können nach Ihrer Arbeit
nicht dem eigentlichen Schlaf nachgehen und betreuen primär ihre schulpflichti-
gen Kinder. Die Schulzeit der Kinder wird dem Schlaf zur Verfügung gestellt. Das
entstehende Schlafdefizit wird in der Regel nicht mehr nachgeholt und gesund-
heitliche Schäden sind konsequente Folgeerscheinungen [BEE-93], S. 15-16.

Als Beispiel sei auf eine schwedische Untersuchung aus dem Jahre 1989
(AXELSSON) verwiesen, die belegt, dass unregelmäßige Arbeitszeiten sich ne-

gativ auf das Geburtsgewicht auswirken können und die Schichtarbeit das Risiko von Fehlgeburten erhöht [AXE-89], S. 397. Diverse weitere Studien von COLLIAN (1979), UCHATA (1982), AXELSSON (1988) und POKORSKI (1990) bestätigen diese Tendenz [POK-99], S. 125-130.

Ein weiteres Argument, welches den motivierenden Einsatz von Frauen in der Nacharbeit rechtfertigt, ist der monetäre Vorteil im Vergleich zur Früh- bzw. Spätschicht.

Eine Kombination der genannten Vorzüge bildet einen Anreiz für die erwähnte Personengruppe und lässt gesundheitliche Aspekte in den Hintergrund rücken.

Ein geschlechtsbezogenes Nacharbeitsverbot wäre trotz alledem keine sinnvolle Lösung. Stattdessen wären definierte gesetzliche Regelungen, wie auch von BEERMANN gefordert (unabhängig vom Geschlecht), wünschenswert, die den Mitarbeiter vor gesundheitlichen Schädigungen bewahren. Zudem sollte die Risikogruppe ausreichenden Vorsorgeuntersuchungen unterzogen werden.

In den vorherigen Unterkapiteln wurden eine Vielzahl von epidemiologischen Studien zur Schichtarbeit veranschaulicht. Diese Aspekte stellen ein komplexes Gebilde dar, bei dem verschiedene Faktoren miteinander/untereinander korrelieren aber auch divergieren können.

Tendenziell führt Schichtarbeit zu einem erhöhten gesundheitlichen Risiko. Maßnahmen, die dieser Eigenschaft entgegenwirken sind in Kapitel 9 dieser Arbeit enthalten und bei Bedarf entsprechend zu berücksichtigen.

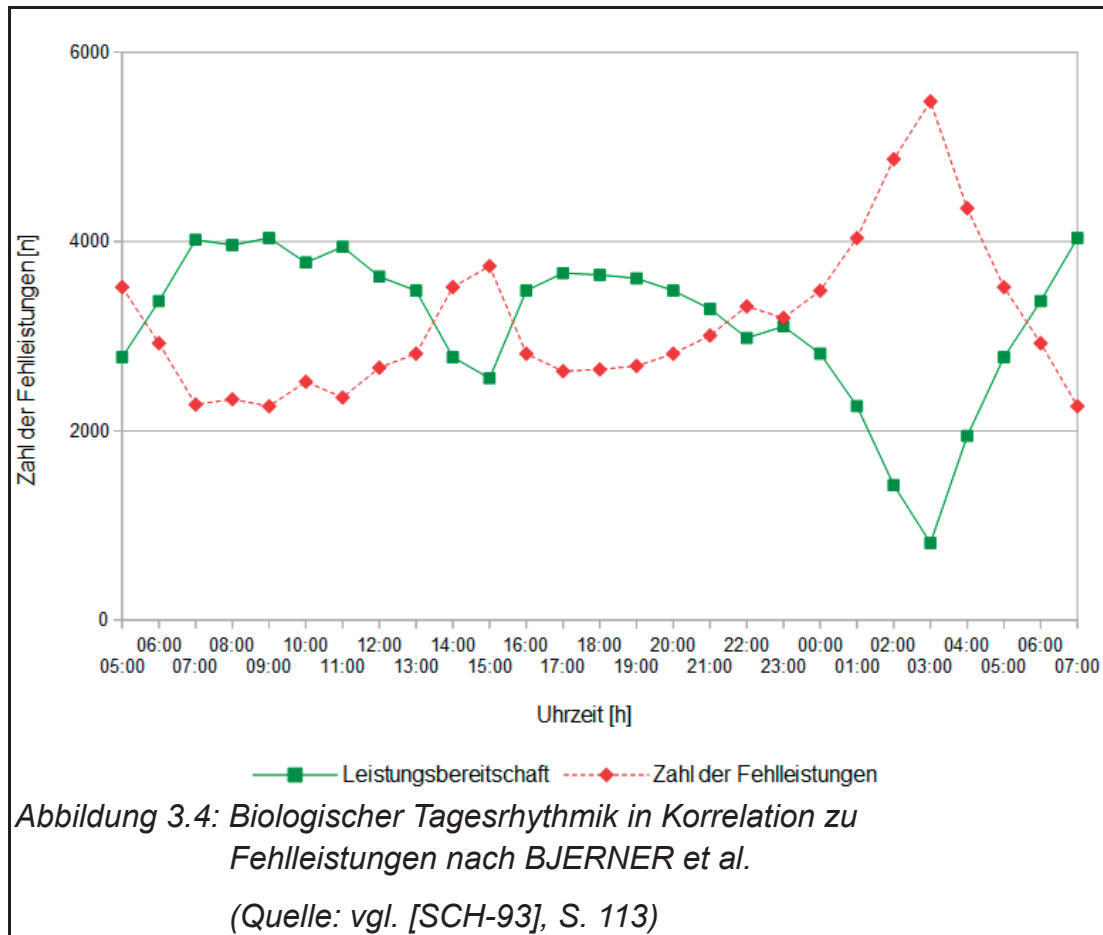
3.3 Fehlerentwicklungsquote in Korrelation zur Tagesrhythmik

Dass die Leistungsbereitschaft und damit verbunden auch die Leistungsfähigkeit an den biologischen Tagesrhythmus geknüpft ist, stellt keine neue Erkenntnis dar und hat GRAF bereits 1961 bewiesen.

Aber inwiefern steht dieser Parameter im Zusammenhang mit der Fehlerquote und wirkt sich dieser direkt auf den Wertschöpfungsprozess aus?

Abbildung 3.4 zeigt Fehlleistungen, die sich aus Aufzeichnungen von BJERNER, HOLM und SWENSSON über einen Untersuchungszeitraum von 19 Jahren

(1912 bis 1931) ergaben [LUC-98], S. 234. Die Entwicklung dieser Fehlerleistungen verhält sich annähernd reziprok zum Tagesrhythmus nach Graf.



Diese dispositiven Schwankungen zwischen dem ergotropen und trophotropen Punkt sind bis heute nicht vollständig geklärt. Der Zusammenhang mit unserem vegetativen System ist jedoch ein Parameter hierfür.

Dieses Ergebnis hat weitreichende Auswirkungen auf den Schichtbetrieb.

Gemäß Abbildung 3.4 wäre zwischen 07:00 Uhr und 11:00 Uhr ein ökonomisch günstiger Zeitpunkt für einen laufenden Prozess. Im Vergleich dazu steigt die Fehlleistung gegen 03:00 Uhr um das 2,5-fache an [SCH-93], S.113.

Eine Studie des Ausschusses im 3-Schicht-Betrieb der MANN+HUMMEL Gruppe soll eine Vergleichbarkeit zwischen beiden Untersuchungen aufzeigen und wird in Kapitel 8.2 abgehandelt.

3.4 Arbeitswissenschaftliche Vorgehensweise zur Ermittlung physiologischer Belastungen

Um ein wissenschaftlich fundiertes Ergebnis zu erzielen, ist eine systematische Vorgehensweise anzuwenden. Hierzu wurden im ersten Schritt die betroffenen Beschwerderegionen eruiert.

3.4.1 Recherchemethoden

Um effektiv den Beschwerden von betroffenen Personengruppen entgegenzuwirken, ist der Informationsgehalt über betroffene Körperregionen eine unabdingbare Voraussetzung. Eine Möglichkeit ist, auf vorhandenes Datenmaterial zurückzugreifen. Ist dieses nicht verfügbar, sollte eine eigenständige Recherche vollzogen werden. Die geläufigsten Vorgehensweisen zeigt der nachfolgende Kontext.

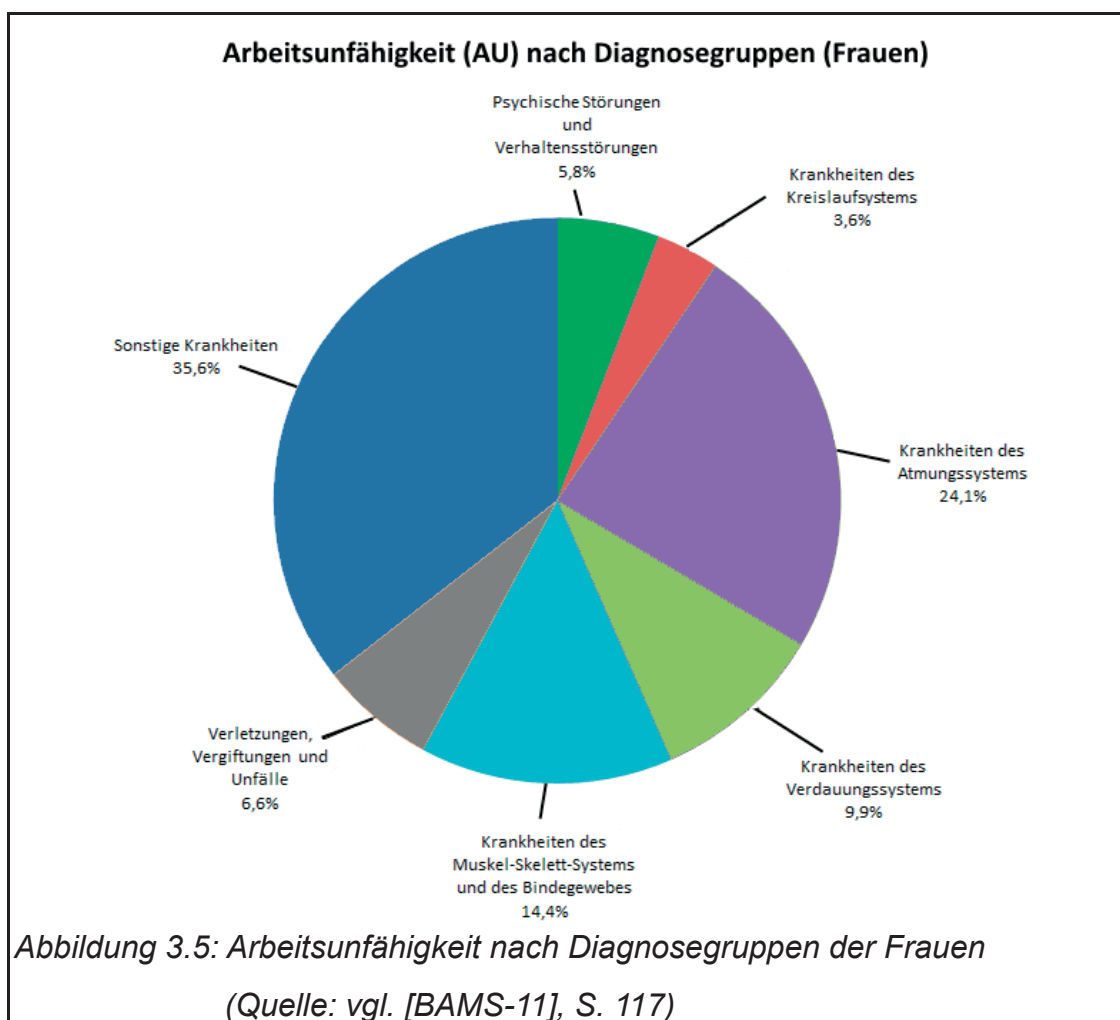
3.4.1.1 Arbeitsmedizinisches Datenmaterial

Grundsätzlich sollte in den werksärztlichen Stellen der einzelnen Unternehmen Datenmaterial zur Spezifizierung von Beschwerderegionen vorliegen. Damit ist eine Lokalisierung von kritischen Bereichen möglich. Für diesen Fall empfiehlt sich zum Beispiel die Datenerfassung gemäß des Grundsatzes 46 (Belastungen des Muskel-Skelettsystems) [BGI-09]. Dieser Grundsatz berücksichtigt auch präventive Maßnahmen. Vorgeschaltet findet eine Gefährdungsbeurteilung statt, die Erkrankungen oder Überbelastungen im Muskel-Skelettbereich aufzeigen soll. Der Grundsatz 46 (G46) beginnt mit einer Erstuntersuchung, bei der ein Abgleich zwischen Muskel- und Skelettbelastungen, die während der Arbeitsausführung entstehen können, verdeutlicht wird. Nach einem Zeitraum von 60 Monaten (bzw. ab dem 40. Lebensjahr nach 36 Monaten) folgt eine Nachfolgeuntersuchung. Natürlich lässt der Grundsatz auch Spielraum für vorzeitige Untersuchungen zu, die zum Beispiel auf Wunsch des Beschäftigten bzw. des Werksarztes bei gesundheitlichen Bedenken (z. B. aufgrund körperlicher Einschränkungen des Arbeitnehmers; bei Wiedereingliederung) in kürzeren Zyklen möglich sind (vgl. Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge (BGI/GUV-I 504-46)) [BGI-09].

3.4.1.2 Staatliche Publikationen

Eine weitere Datenbasis mit nützlichem Informationsgehalt sind oftmals staatliche Publikationen. Eine Quelle hierfür ist das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). Jährlich wird dort entsprechende Literatur veröffentlicht, die unter anderem einen statistischen Einblick auf Berufskrankheiten, Gründe für Arbeitsunfähigkeiten und betroffene Beschäftigungsgruppen zulässt.

Für das gegebene Untersuchungsspektrum ist eine Verteilung der unterschiedlichen Diagnosegruppen in Bezug auf das weibliche Geschlecht von Bedeutung. Hierzu gibt Abbildung 3.5 vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales einen Einblick.



Neben dem größten Anteil, der unter „Sonstige Krankheiten“ geführt wird und nicht näher spezifizierbar ist, folgt die Diagnosegruppe „Krankheiten des Atmungssystems“ mit ~ 24 %. Dieser hohe Anteil beruht auf grippalen Infekten, die

nur marginal mit der beruflichen Tätigkeit in Zusammenhang stehen und deshalb aus dem Betrachtungsfokus entnommen werden.

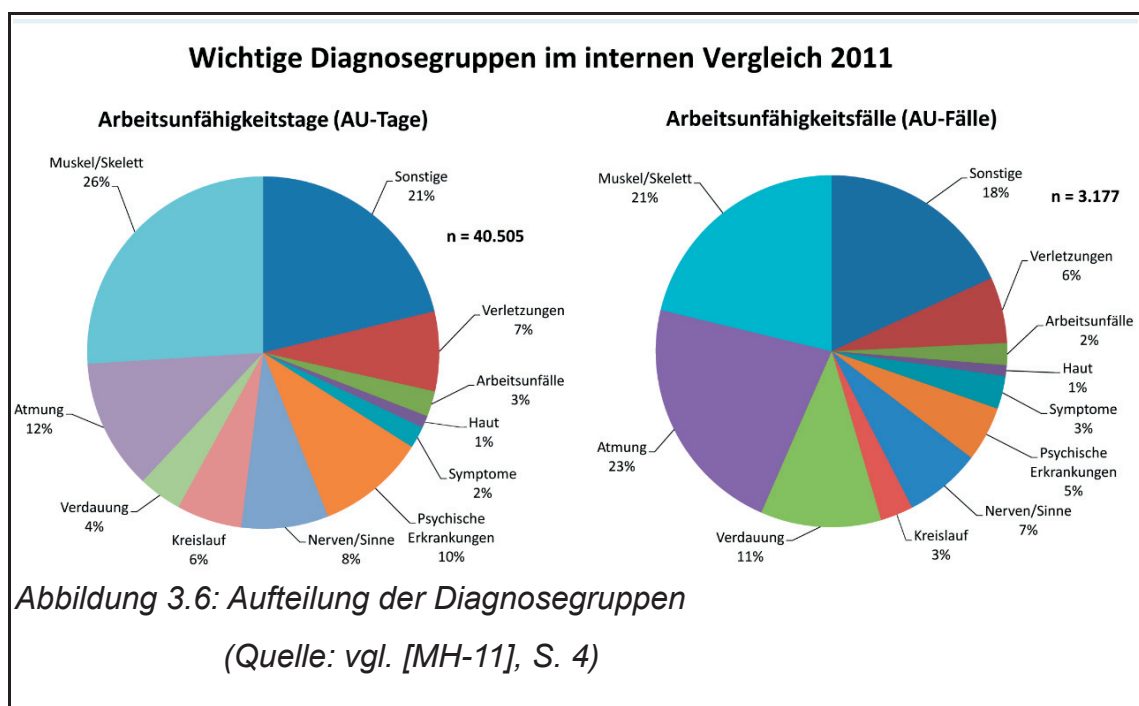
Die Erkrankungen des „Krankheiten des Muskel-Skelett-Systems und des Bindegewebes“ (~ 14 %) sowie „Krankheiten des Verdauungssystems“ (~ 10 %) sind deshalb primär zu betrachten.

Inwiefern diese Quelle mit den vorliegenden Diagnosegruppen/Beschwerderegionen übereinstimmt wird Kapitel 5.2.3 belegen, indem die betroffene Personengruppe einem spezifischen Interview unterzogen wurde.

3.4.1.3 Statistiken von Versicherungsträgern

Tendenzen sind auch durch die Einsicht auf Auswertungen von Krankenkassen möglich. Um den Stichprobenfehler auf ein Minimum zu reduzieren, sollte die Zielgruppe und die herangezogene Statistik eine hohe Schnittmenge aufweisen. Dazu wurde in diesem Fall die Zugehörigkeit zur jeweiligen Krankenkasse erfragt. Hierzu waren im Jahr 2011 ~ 83 % (2.111 von 2.530 Beschäftigten) aller Mitarbeiter am Standort Marklkofen bei der Betriebskrankenkasse mhplus versichert. Dieser hohe Anteil stellt somit ein repräsentatives Ergebnis dar.

Der Gesundheitsreport aus Abbildung 3.6 ist ein Indiz für folgende Aussagen:



Muskel- und Skeletterkrankungen bilden mit einem prozentualen Anteil von 26 % den größten Anteil der Gründe für Arbeitsunfähigkeitstage (AU-Tage). Der zweite große Anteil an Krankheitsarten wurde nicht näher spezifiziert und wird unter „Sonstige Krankheiten“ ausgewiesen. Die dritthäufigsten Arbeitsausfälle sind durch Erkrankung des Atmungssystems begründet (~ 12%). Unter diese Kategorie fallen grippale Infektionen, für die begrenzte Einflussmöglichkeiten seitens des Arbeitgebers bestehen.

Für die weitere Betrachtung wurde deshalb der Schwerpunkt auf die größte Diagnosegruppe der **Muskel- und Skeletterkrankungen** gelegt.

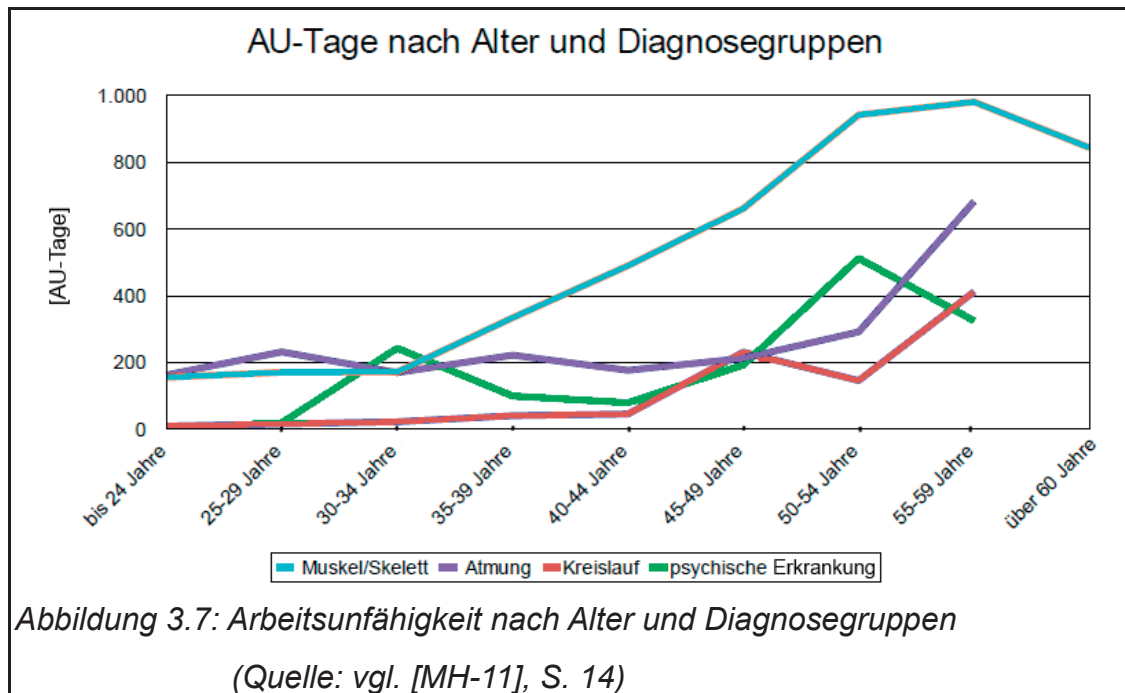
Da am untersuchten Objekt Akkordarbeitsplätze beurteilt/bewertet werden und die Arbeit ausschließlich durch weibliches Personal ausgeführt wird, ist folgende Tabelle von Bedeutung:

Gesundheitsbericht für die mhplus BKK; MANN+HUMMEL Standort Marklkofen; 01.01.2011 – 31.12.2011 Gesamtübersicht nach Krankheitsarten (N=2.111 ; PJ=2.067,25)											
	AU-Fälle	AU-Tage	AU-Fälle / 100 PJ	AU-Tage / 100 PJ	Tage pro Fall	AU-Quote	% Anteil Mehrfach-erkrankter	% Anteil Langzeit-erkrankter	% Anteil Kurzzeit-erkrankter	Volumen Langzeit - AU%	Volumen Kurzzeit - AU%
Muskel- und Skeletterkrankungen (M00-M99)	662	10605	32,0	513,0	16,0	22,6	28,9	9,5	60,2	40,1 – 45	10,1 – 15
Gelenkerkrankungen	140	3404	6,8	164,7	24,3	5,6	18,9	16,7	43,8	55,1 – 60	< 10
Rückenerkrankungen	367	4211	17,8	203,7	11,5	13,7	22,6	3,2	64,8	25,1 – 30	15,1 – 20
Erkrankungen der Gelenkumgebung	127	2321	6,1	112,3	18,3	5,2	13,9	8,4	48,2	35,1 – 40	< 10
...

Tabelle 3.1: Ausschnitt aus Muskel- und Skeletterkrankungen nach Diagnoseuntergruppen
(Quelle: [MH-11], S. 18)

Tabelle 3.1 zeigt, dass Rückenerkrankungen mit ~ 56 % die bedeutendste Diagnoseuntergruppe an AU-Fällen darstellt. Dieses Diagnosebild behält seine Gültigkeit für Kurzzeiterkrankte wie auch für mehrfach erkrankte Mitarbeiter.

Bereits zu Beginn dieser Arbeit wurde die Tendenz bezüglich des Lebensalters und der Krankheitstage dargelegt. Abbildung 3.7 bestätigt nochmals die festgestellte Tendenz zwischen Krankheitsarten und dem Lebensalter. Die Krankheitsart „Muskel/Skelett“ zeigt einen enormen Anstieg ab dem 30. Lebensjahr.



Innerhalb der MANN+HUMMEL Gruppe wird sich am Standort Marklkofen mittelfristig das Durchschnittsalter der Mitarbeiter/innen von 39 Jahren auf 45 Jahre erhöhen [MH-11], S. 9. Bezogen auf die Krankheitsart „Muskel/Skelett“ ist deshalb davon auszugehen, dass sich der Anteil an Krankheitstagen erhöhen wird. Aus Abbildung 3.7 lässt sich der Anstieg in diesem Altersbereich eindeutig erkennen. Kapitel 7 wird aufzeigen, inwiefern die Daten des Versicherungsträgers belastbar sind.

Existiert kein veröffentlichtes Datenmaterial, so empfiehlt es sich, eine eigenständige Erhebung vorzunehmen. Eine bekannte Fragebogenerhebung wird deshalb im nächsten Unterkapitel erläutert.

3.4.2 Fragebogenerhebung

Bei dieser Methode handelt es sich um eine subjektive Einschätzung der Mitarbeiter bezüglich der Körperregionen, die von Beschwerden betroffen sind. Dabei ist die Aussagekraft der Ergebnisse auf eine prozentuale Häufigkeit von Körperregionen aufgrund ihrer Subjektivität mit einem Restrisiko behaftet.

Für den Bereich der Muskel-Skelett Erkrankungen hat KUORINKA et al., 1987, einen standardisierten Fragebogen entwickelt. Dieser beginnt mit einem allgemeinen Teil, der Informationen wie das Lebensalter, die Anthropometrie, das Ge-

schlecht, Sportaktivitäten und generelle Beschwerdezeiten erfragt. Im zweiten Teil wird auf die angegebenen Beschwerdezeiten eingegangen. In seiner Ursprungsform gliedert der „Nordische Fragebogen“ den Körper in neun Regionen: Nacken/HWS Schulter, Oberer Rücken, Ellenbogen, Hals/Handgelenke, Kreuzregion, Hüfte, Knie und Füße/Unterschenkel. Um unnötige Fragen zu vermeiden, sind im zweiten Teil ausschließlich die Beschwerdezeiten zu beantworten, die ein Schmerzempfinden beim Mitarbeiter verursachen [KUO-87], S. 233-237.

3.4.3 Sammlung relevanter/arbeitswissenschaftlicher Methoden zur Ermittlung von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen

Um die Expertise auf fundierte und wissenschaftliche Erkenntnisse untersuchen zu können, bedarf es der korrekten Auswahl der Beurteilungs- bzw. Bewertungsmethode. Hierbei ist prinzipiell zwischen subjektiver bzw. objektiver Bewertung/Beurteilung zu unterscheiden. Einige der geläufigsten Beurteilungs- bzw. Bewertungsmethoden werden im Folgenden vorgestellt.

3.4.3.1 BodyMap-Methode

Bei dieser Methode werden subjektiv wahrgenommene Beschwerden dokumentiert. CORLETT hat dazu den menschlichen Körper in verschiedene Körperregionen unterteilt [COR-76], S. 175-179. Durch die Aufnahme der Beschwerdezeiten kann eine spätere Analyse der Häufigkeitsverteilung erfolgen.

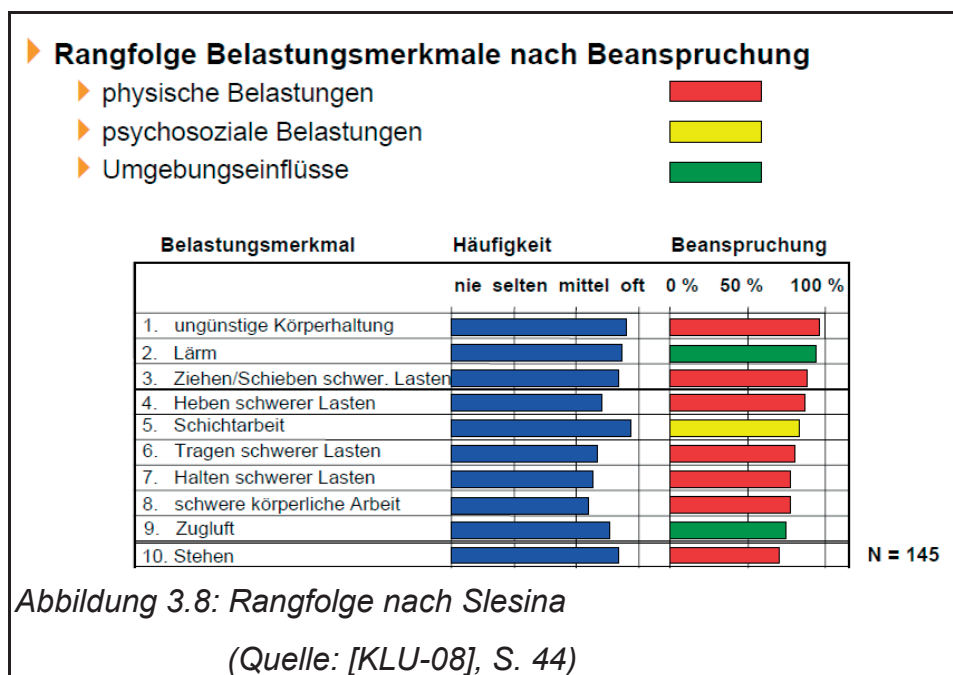
CORLETT hat hierzu einen Feldversuch zur Optimierung von Flugzeugsitzen durchgeführt. Nach einem dreistündigen Flug mussten Piloten subjektiv beurteilen, in welchen Körperregionen Beschwerden auftraten und in welchem Ausmaß. Dazu legte er eine Skala mit sieben verschiedenen Gewichtungen fest (von extrem komfortabel bis extrem unbequem). Anhand der Ergebnisse wurden Optimierungen an den Flugzeugsitzen vorgenommen [COR-76], S. 177-179.

Zu beachten ist, dass bei unterschiedlichen Aussagen nur eine bedingte Aussagekraft vorherrscht. Die Methode sollte deshalb bei stark schwankenden Ergebnissen durch alternative Methoden hinterfragt werden.

3.4.3.2 Slesina

Bei der Methode nach Slesina handelt es sich um ein subjektives Verfahren, welches aus 47 unterschiedlichen Fragen besteht. Diese bilden eine summarische Kenngröße, die zur weiteren ergonomischen Beurteilung nutzbar sind. Dabei werden Fragestellungen zu unterschiedlichsten Belastungsfaktoren, wie der Körperhaltung, der Arbeitsumgebung oder der Arbeitsorganisation bzw. des Arbeitsinhaltes abgefragt. Die Beurteilung dieser Fragen erfolgt anhand der Intensität (nie, selten, mittel, oft) und dem Vorhandensein von Belastungen bzw. Beanspruchungen (ja/nein).

Als Ergebnis wird eine Stärken-/Schwächenanalyse reflektiert. Dieses wird nach prozentualer Häufigkeit der Belastungen/Beanspruchungen dargestellt und gewährleistet somit eine Übersichtlichkeit (siehe Abbildung 3.8).



Dieser Fragebogen bietet eine schnelle Möglichkeit zur Darstellung von subjektiven Wahrnehmungen und ist für Tendenzen durchaus anwendbar. Eine Transparenz hinsichtlich Objektivität ist durch das Verfahren allerdings nur begrenzt gegeben.

3.4.3.3 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

RULA ist ein Screening-Verfahren, bei dem Körperhaltungen registriert und in Arbeitsbögen übertragen werden. Der Schwerpunkt liegt im Bereich der Arm- und

Handgelenkshaltung. Der Fragebogen lässt 288 Varianten zu. Sekundär werden der Oberkörper, der Hals und die Beine betrachtet. Hier schlägt sich die Varianz mit 72 Kombinationen nieder. Demzufolge existieren nach RULA 360 verschiedene Haltungsvarianten. Aus den Einzelsummen wird eine Gesamtsumme gebildet, welche ein Urteil fällt. Gesamtpunktwerte von 1 bis 2 stellen zulässige Situationen dar, die keinerlei Verbesserungsmaßnahmen erfordern. Steigt dieser Gesamtpunktwert auf 3 bis 4, so sollte der Arbeitsvorgang näher betrachtet und mögliche Verbesserungen eingeleitet werden. Ein Punktwert zwischen 5 und 6 erfordert kurzfristigen Handlungsbedarf. Gesamtpunktwerte, die ≥ 7 sind, erfordern sofortige Maßnahmen [DOC-12], S. 632-636.

Die Methode ist schnell anzuwenden und bei Fokussierung auf den Bereich der Arm- und Handgelenksbereiche durchaus eine effektive Methode, die sofortigen Handlungsbedarf aufdeckt. Inwiefern diese Risikobewertung für das Szenario in dieser Arbeit eine günstige Lösung darstellt, wird die Zusammenfassung in Tabelle 5.1 aufzeigen.

3.4.3.4 Risikobewertung nach Kilbom

Eine weitere Bewertung repetitiver Tätigkeiten kann nach Kilbom erfolgen. Diese Risikobewertung wurde von Åsa Kilbom entwickelt und berücksichtigt Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremitäten. Hierbei wird die Repetition als Risikofaktor betrachtet und deshalb in den Fokus gestellt. Anhand der Anzahl der ausgeführten Bewegungsabläufe, der betroffenen Körperregionen und zusätzlichen/subjektiven Faktoren kann das Risiko bewertet werden. Bedingt durch den dritten Faktor, also durch die Bewertung (z. B. hoher Kraftaufwand zur Arbeitsausführung), erfordert dieses Verfahren einen erfahrenen Blick von der Person, die diese Methodik anwendet.

Aus Tabellen, die Kriterien wie Körperregionen und Frequenzen der Bewegung enthalten, können Rückschlüsse gezogen werden [KIL-94-1], S. 51-56.

Körperregion	Art der Untersuchung	Frequenz der Bewegungen bzw. Kontraktionen	Gefahrenanalyse	Risikoänderung - sehr hohes Risiko
Schulter	dynamisch	> 2.5/min	hoch	Dafür kann einer der aufgeführten Punkte verantwortlich sein: - hohe äußere Kraft - hohe Geschwindigkeit - zu hohe statische Belastung - extreme Körperhaltung - mangelndes Training - zu hohe Leistungsanforderung - Monotonie - fehlende Kontrolle - lange Dauer der repetitiven Arbeit
	statisch		vgl. WINKEL, WESTGAARD	
Oberarm, Ellenbogengelenk	dynamisch	> 10/min	hoch	
	statisch		vgl. DUL et al.	
Unterarm, Handgelenk	dynamisch	> 10/min	hoch	
	statisch		vgl. BYSTRÖM	
Finger	dynamisch	> 200/min	hoch	

Tabelle 3.2: Richtwerte zur Bewertung nach KILBOM
(Quelle: übersetzt nach [KIL-94-1], S. 55)

Diese Methode bietet für erfahrene Arbeitswissenschaftler eine schnelle Möglichkeit zur tendenziellen Bewertung von stark frequentierten Arbeitsvorgängen.

3.4.3.5 Leitmerkmalmethode

Die **Leitmerkmalmethode** (LMM) ist in drei unterschiedlichen Ausprägungen verfügbar. Der methodische Aufbau der drei Varianten ist ähnlich und unterscheidet sich ausschließlich in der Beurteilung von unterschiedlichen Gefährdungen. Die grundlegende Vorgehensweise besteht aus folgenden Teilschritten:

Der erste zu ermittelnde Parameter ist die Zeitwichtung, die als späterer Multiplikator für die Gesamtsumme der einzelnen Leitmerkmale dient. Im zweiten Schritt sind die spezifischen Leitmerkmale zu fixieren, die je nach Variante unterschiedlich definiert sind. Die Summe dieser Leitmerkmale multipliziert mit der Zeitwichtung stellt einen Gesamtpunktwert dar. Dieser ist mit Risikobereichen aus Tabellen abzugleichen und zeigt die Tendenz der physiologischen Belastung am analysierten Arbeitsvorgang auf [BAU-12-1], S. 6.

Es wird zwischen drei Varianten unterschieden:

- **Beurteilung von Arbeitsaufgaben, wie dem Heben, Tragen oder/und dem Halten anhand von Leitmerkmalen**
- **Beurteilung von Tätigkeiten, wie des Ziehens und/oder des Schiebens**
- **Beurteilung von manuellen Arbeitsprozessen**

Weiterführende Literatur zu diesen Bewertungsverfahren ist zu finden unter [CAF-99], S. 70-71, [STE-98], S. 14-43 oder/und [BAU-12-1], S. I-20.

Diese Bewertungsmethode ist so konzipiert, dass mit relativ geringem Aufwand ein abgestufte Risikobeurteilung (grün/gelb/rot Abstufung) zu situativen Belastungen vorliegt. Zur Durchführung der Methode sind ergonomische Vorkenntnisse vonnöten. Zudem sollte die Bewertung durch mehrere Personen erfolgen, damit die Blickrichtung aller Vertretergruppen (Zeitwirtschaft, Betriebsrat, Betriebsarzt, ...) berücksichtigt wird.

3.4.3.6 CUELA-Verfahren

Das CUELA-Messsystem (**C**omputer **u**nterstützte **E**rfassung und **L**angzeitana-lyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) dient der zeitkontinuierlichen Registrierung von Körperhaltungen und Bewegungen. Die Aufzeichnungen erfolgen mit einer Abtastrate von 50 Hz und können über mehrere Stunden am Arbeitsplatz erfolgen. Dazu werden Inertialsensoren, die translatorische und rotatorische Beschleunigungen erfassen können, sowie Potentiometer eingesetzt, die mit Gurten über der Arbeitskleidung und an dem Probanden angepasst, positioniert und fixiert werden. Je nach Untersuchungsanforderungen kommen verschiedene Versionen des CUELA-Systems zum Einsatz. Eine Übersicht dazu ist unter [HOE-10], S. 6 im Internet einsehbar.

Das CUELA-Verfahren kann darüber hinaus mit Erweiterungsmodulen ergänzt werden. Zu diesen zählen beispielsweise die Oberflächen-Elektromyografie ausgewählter Muskelgruppen (EMG), Fußdruckmesssohlen zur Ermittlung der Bodenreaktionskräfte, direkte Kraftmessungen über Kraftgriffe oder Herzschlagfrequenzbestimmungen. Begleitend zur Messung erfolgt eine Videoaufnahme, die ggf. bei der Auswertung und Beurteilung hilft, den Zusammenhang zwischen Messdaten und Tätigkeitsausführung herzustellen. Die Daten werden auf einen Datenträger gespeichert und können nach Beendigung der Messung am Computer weiterverarbeitet werden. Dafür steht die CUELA-Software WIDAAN (**W**inkel-**D**aten-**A**nalyse) zur Verfügung. Mittels dieser Software können die aufgenommenen Daten eingelesen, dargestellt, bearbeitet und statistisch ausgewertet werden (vgl. Abbildung 5.3). Die Bewertung der Messdaten wird anhand

biomechanischer und arbeitswissenschaftlicher Parameter oder Verfahren vorgenommen und erfolgt teilautomatisiert.

Einerseits ist die beschriebene Vorgehensweise mit sehr hohem Aufwand verbunden und die Auswertung der Daten kann ausschließlich durch Experten erfolgen, andererseits führt die Analyse der objektiv erhobenen Messwerte zu reproduzierbaren, validen Aussagen und nachvollziehbaren Bewertungen.

3.4.3.7 OWAS-Verfahren

Dieses finnische Verfahren steht für **Ovako Working Posture Analysis System** und ist ein Multimomentverfahren, das 1973 entwickelt und 1977 veröffentlicht wurde.

Dabei standen zwei wesentliche Ziele im Vordergrund:

- ein System, das einfach einsetzbar ist und keine ergonomischen Grundkenntnisse erfordert
- das System soll eindeutige Ergebnisse aufzeigen, die nur in bedingtem Umfang einer Unschärfe unterliegen dürfen

Der entscheidende Vorteil dieser Methode ist die unkomplizierte Versuchsdurchführung, die auch mittels überschaubaren Equipment möglich ist. Diese Methode erfasst Arbeitsabläufe und bewertet diese anhand eines vorgegebenen Körperhaltungskataloges. Es wird zwischen 256 unterschiedlichen Körperhaltungstypen differenziert, wobei eine erste Gruppierung der Grundhaltung bereits einen Großteil der Körperhaltungen ausschließt. Grundsätzlich gibt es vier differenzierte Haltungen für den Armbereich und weitere sieben für den Beinbereich. Dank einer Festlegung auf einen dieser Körperhaltungsbereiche wird die Anzahl der Kombinationen auf ein Vielfaches reduziert.

Die Vorgehensweise kann in zwei Teile untergliedert werden. Im ersten Schritt wird der Arbeitsvorgang einer systematischen Beobachtung unterzogen. Diese hält Körperhaltungen, wie die Haltung des Rückens, der Arme und der Beine fest. Die gewählte Kombination wird kodiert und als vierstellige Ziffer dargestellt.

Dazu ein Beispiel:

3 2 2 3

die Last ist größer als 20 kg
stehend, beide Beine gerade
ein Arm ist mindestens auf Schulterhöhe
Körperhaltung zur Seite gebeugt oder gedreht (links oder rechts)

Um eine Situation nachverfolgen zu können, sollten Videoaufnahmen den Prozess begleiten. LOUHEVAARA und SUURNÄKKI [LOU-92] empfehlen gleiche Intervalle/Rhythmen für das Festlegen von Körperhaltungen. Eine Bewertung im Intervall von 30 Sekunden hat sich bewährt und stellt einen Kompromiss zwischen Aufwand und Unschärfe dar. Nimmt die Anzahl wechselnden Körperhaltungen zu, so ist auch die Erhöhung der Abtastrate sinnvoll.

Im zweiten Teil der Methodik erfolgt die Bewertung, die anhand der zeitlichen Anteile der Körperhaltungen und der Häufigkeiten fixierbar ist. Über vier Kategorien wird die endgültige Prognose für den untersuchten Arbeitsgang getroffen:

Kategorie	Beschreibung
1	Körperhaltung entspricht dem ergonomischen Ideal, keine Verbesserungen notwendig
2	Gesundheitsschädigende Vorgänge existieren und Maßnahmen Werden nahegelegt
3	Partiell sind körperlich belastende Vorgänge erkennbar und Maßnahmen sind einzuleiten und umzusetzen
4	Klare gesundheitsschädigende Vorgänge existieren und Maßnahmen sind sofort einzuleiten

Tabelle 3.3: Kategorisierung zur OWAS-Methode

(Quelle: eigene Darstellung)

[GUD-08], S. 25-34.

Die Durchführung und Analyse kann ohne jegliches Equipment erfolgen. Der Aufwand bei komplexen Prozessabläufen ist sehr hoch, dafür ist das Ergebnis reproduzierbar. Ein weiterer Vorteil ist die Anwendbarkeit für alle Körperregionen, wobei andererseits der Nachteil existiert, dass OWAS ausschließlich statische Haltungen berücksichtigt [SCH-99], S. 17.

3.4.3.8 NIOSH-Verfahren

Das ursprüngliche NIOSH-Verfahren wurde bereits 1981 konstruiert. Im Laufe der Jahre wurde dieses weiterentwickelt und die neueste Form dieser Bewertungsmethode soll kurz vorgestellt werden.

Um dieses Verfahren anwenden zu können, müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- **optimale Umgebungseinflüsse**
- **Lastbreite darf 0,75 Meter nicht überschreiten**
- **symmetrisches Heben der Last (beidhändig und direkt vor dem Körper, ohne Torsion des Körpers beim Anheben)**
- **homogene Hubbewegung**
- **gute Kraftübertragung wird vorausgesetzt (z. B.: Schuhe – Untergrund)**

Aus diesen Bedingungen wird ersichtlich, dass dieses Verfahren nicht bei allen Arbeitsvorgängen anwendbar ist [BON-95], S. 145.

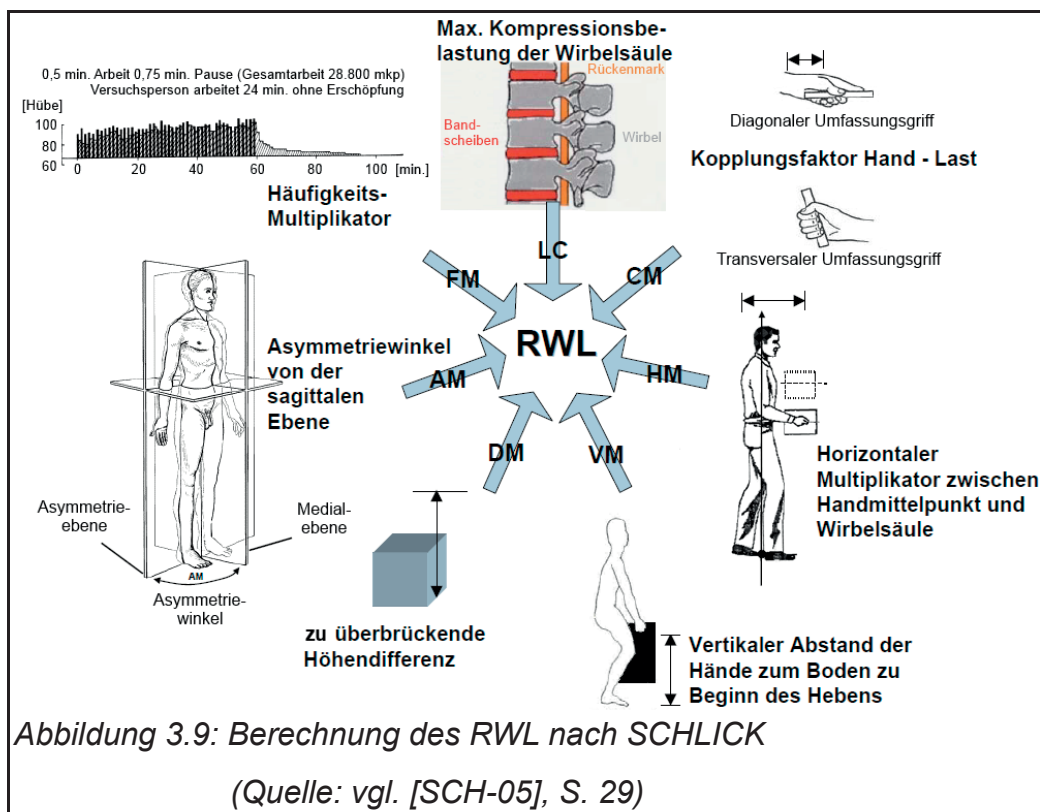
Aufgrund dieser Einschränkungen wurde die Methodik im Jahre 1991 erweitert. Die ursprüngliche Berechnungsformel wurde um weitere zwei Faktoren ergänzt:

- **asymmetrischen Bewegungen**
- **Kopplung zwischen Arbeitsgegenstand und Gliedmaßen (z. B. Hand)**

Damit unterlag das erweiterte Verfahren (WATERS et al., 1993) nur noch folgenden Einschränkungen:

- **normale Umgebungsbedingungen**
- **ausreichende Haftung zwischen Person und Bodenbelag**
- **gleichmäßige, homogene Bewegungen (Heben und Absetzen)**
- **Heben der Last mit beiden Händen**

SCHLICK hat zur Berechnung ein Schaubild erstellt, indem alle Multiplikatoren enthalten sind. Dieses soll abschließend einen Überblick der einzelnen Faktoren verdeutlichen [SCH-05], S. 15.



Das detaillierte Vorgehen zur Anwendung der Methode ist der Literatur „*Leitfaden für die Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten*“ [BON-95] zu entnehmen. NIOSH bietet für Hebe-, Halte- und Tragetätigkeiten einen praktikablen Lösungsansatz. Die Berechnung basiert auf sieben Faktoren, die eine klare Aussage zur körperlichen Belastung (in Kilogramm) liefert.

3.4.3.9 Hand-Activity Level Threshold Limit Values (HAL TLVs)

Dieses Verfahren wurde von der **American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)** nach dokumentierter Auswertung epidemiologischer, psychophysikalischer und biomechanischer Studien erarbeitet. Die Methode ist ausschließlich für die Beurteilung von Belastungen der Hand, des Handgelenks und des Unterarms nutzbar. Die zu beurteilenden Tätigkeiten müssen gleiche Arbeitsaufgaben enthalten. Weiterhin sind diese durch ähnliche Bewegungsabläufe und wiederholte Kraftaufwendungen der Hände und Arme im Sinne repetitiver Arbeit gekennzeichnet und werden mindestens über einen Zeitraum von mehreren Stunden oder mehreren Tagen ausgeführt. Zur Beurteilung der Arbeitsbelastung werden als Schätzparameter die durchschnittliche Aktivität der Hand

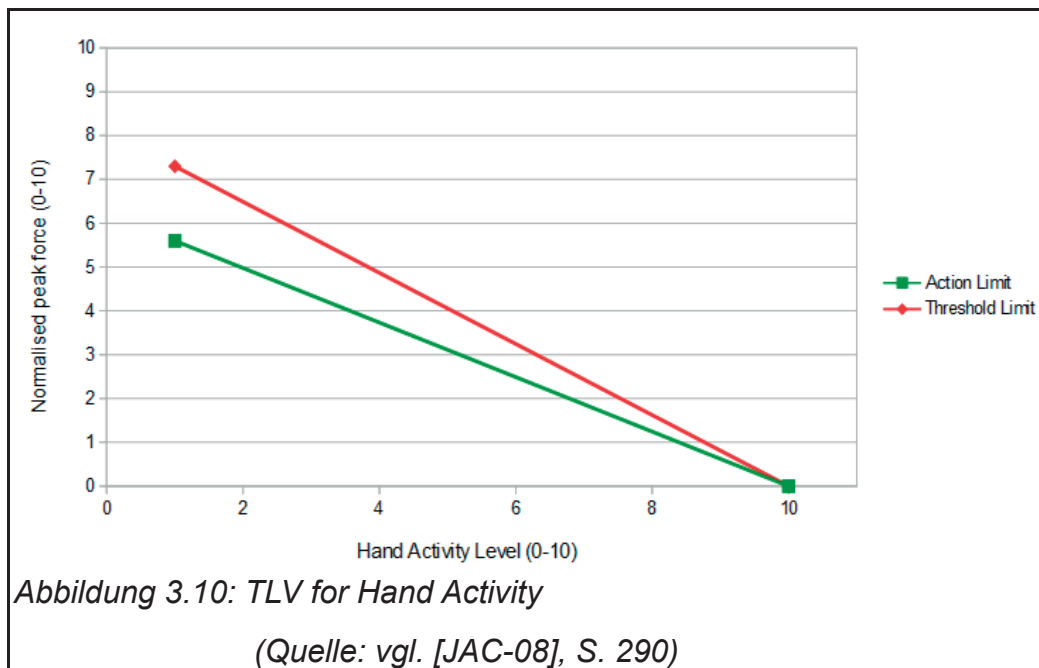
und die von der Hand aufgebrachte Spitzenkraft herangezogen. Bei der Beurteilung sollten mehrere Arbeitszyklen beobachtet und möglichst über Videoaufnahmen dokumentiert werden um Reanalysen durchführen und die Ergebnisse der Einschätzungen nachvollziehen zu können.

Zur Schätzung der durchschnittlichen Aktivität der Hand werden dem Untersucher zwei Möglichkeiten aufgezeigt:

- 1. Einschätzung der Handaktivität durch eine Richtlinientabelle mit verbalen Verankerungen**
(Bestimmungsgrundlage ist unter [HOE-07], S. 84 einzusehen)
- 2. Einschätzung der Handaktivität durch Bestimmung von Frequenz und Zeitanteilen von Kraftaufwendungen im Arbeitszyklus**
(Die Bestimmungsgrundlage hierzu ist aus der Literatur von [ELL-05], S. 57 und/oder [HOE-07], S. 84 ersichtlich)

Als weiterer Parameter wird die mit der Hand aufgewendete Spitzenkraft benötigt. Mittels einer Skala nach BORG [HOE-07], S. 85, ist eine Punktvergabe von 0 (kein Kraftaufwand) bis 10 (sehr großer Kraftaufwand) möglich und kann ggf. unter folgender Quelle eingesehen werden [HOE-07], S. 85.

Um die Beurteilung abschließen zu können, werden die ermittelten Werte der normalisierten Spitzenkraft und der durchschnittlichen Handaktivität in ein Koordinatensystem gegeneinander aufgetragen, so dass sie einen Punkt darin definieren (vgl. Abbildung 3.10) und dessen Lage zu den eingetragenen Limits die Beurteilung ergibt.



Der Bereich unterhalb des Aktionslimits (Action Limit) deutet an, dass keine Maßnahmen am Arbeitsvorgang vorgenommen werden müssen. Werte oberhalb der „Threshold Limit“ Linie stellen ein erhöhtes Risiko für Muskel-Skelett-Beschwerden dar. Die Kombination von Werten für die Kraft und die Handaktivität, die einen Punkt im Bereich zwischen den beiden Grenzlinien bestimmen, führen in der Arbeitsplatzbeurteilung einer Maßnahmenempfehlung oder empfehlen dem Beurteiler, regelmäßige Überprüfungen durchzuführen [JAC-08], S. 289-290.

3.4.3.10 OCRA-Index

Der OCRA-Index (**O**ccupational **R**isk **A**ssessment of Repetitive Movements and Exertions of the Upper Limb) beschreibt ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung bei repetitiven Bewegungen der Hand und des Arms. Der Index stellt den Quotienten aus der Zahl der beobachteten (tatsächlich ausgeführten) und der Zahl der empfohlenen „technischen Aktionen“ (TA) für die zu beurteilende Tätigkeit (der/des rechten und linken Hand/Arms getrennt). Die beobachteten TA werden synchron zum Arbeitszyklus gezählt und anhand der arbeitsorganisatorischen Angaben (Ausübungsdauer der Tätigkeit in der Schicht, Beachtung von Produktionszahlen, Pausenzeiten etc.) ermittelt. Die empfohlenen TA werden wie folgt berechnet:

Es wird angenommen, dass unter optimalen Bedingungen 30 TA pro Minute ausgeführt werden können. Diese Anzahl der TA wird je nach Ausprägungen verschiedener Belastungsfaktoren, die in der zu beurteilenden Tätigkeit vorliegen, mit Reduktionsfaktoren und schließlich ebenfalls mit der Ausübungsdauer der Tätigkeit in der Schicht multipliziert. Die zu berücksichtigenden Belastungsfaktoren sind die erforderliche Kraft, Haltung, zusätzliche Einflüsse (hierzu zählen Kälte, Vibration, lokale Kompression, notwendiges Tragen von Handschuhen etc.) und der Mangel an Erholung. Werden unterschiedliche repetitive manuelle Tätigkeiten ausgeführt, kann auch die Gefährdungsbeurteilung für die gesamte Arbeitsschicht erfolgen, indem für jede Tätigkeit die beobachteten und empfohlenen TA ermittelt werden und vor der Berechnung des OCRA-Index addiert werden.

Außerdem wurde eine zu dem Verfahren entsprechende Checkliste erarbeitet. Diese Methodik findet Anwendung in der DIN EN 1005-5 [DIN-07], S. 38-77.

Die Beurteilung des Index wird anhand der Angaben in Tabelle 3.4 vorgenommen.

Checklistenwert	OCRA-Index	Beurteilung
≤ 6.0	≤ 2.0	kein Risiko
6.1 – 11.9	2.1 – 3.9	niedriges Risiko
12.0 – 18.9	4.0 – 7.9	vorhandenes Risiko
≥ 19	≥ 8.0	hohes Risiko

Tabelle 3.4: Bestimmung des Risikos anhand des Checklistenwertes bzw. OCRA-Indexes.

(Quelle: vgl. [ELL-05], S. 49)

3.4.4 Zusammenfassung

In den vorherigen Unterkapiteln wurden einige Möglichkeiten zur Recherche bzw. über eine Erhebung der Daten oder diverse Beurteilungs- und Bewertungsmethoden zur Identifikation von Beschwerderegionen vorgestellt. Es wurden Methoden beschrieben, die gegenwärtig aufgrund ihrer Effektivität und des aktuellen Standes der Wissenschaft eine Anwendung rechtfertigen. Dabei wurden die Vorzüge aber auch nachteilige Eigenschaften herausgestellt. Anhand dieser Merkmale wurde die Anwendbarkeit der jeweiligen Beurteilungs- bzw. Bewertungsmethode für die definierten Arbeitsvorgänge geprüft. Es gibt prinzipiell kein Vorge-

hen/Verfahren, welches für alle betrieblichen Zwecke/Vorgänge geeignet ist. Die vorhergehenden Ausführungen sind dazu gedacht, einen Überblick über die gängigsten Verfahren zu bekommen und dem Interessenten eine objektive Einsatzmöglichkeit aufzuzeigen.

Kapitel 5.2 wird alle Verfahren nochmals tabellarisch in Form einer Matrix gegenüberstellen und aus verschiedenen Blickwinkeln beurteilen.

4 Hypothesen

Aus den bisherigen Betrachtungen hinsichtlich der sechs Arbeitsvorgänge bzw. sechs Akkordarbeitsplätze konnten einige Hypothesen aufgestellt werden, die im Laufe der Arbeit beantwortet (Kapitel 8) werden. Das Vorgehen der Hypothesenuntersuchung gliedert sich in Formulierung der einzelnen Hypothesen (Nullhypothese und Alternativhypothese), Spezifizierung des Signifikanzniveaus, Berechnung der Testgröße, Definition von Annahme- und Ablehnungsbereich und der Bewertung der Hypothesen.

4.1 Formulierung der These zur Zeitgradvariation

1. Welche Auswirkungen hat eine Zeitgradvariation (Produktivitätsveränderung) auf die physiologische Belastung?

Die Nullhypothese konnte folgendermaßen formuliert werden:

H_0 : „Zeitgraderhöhungen führen in mehr als 90% aller Situationen zu einer Veränderung der physiologischen Belastung/ Beanspruchung.“

Dadurch ergab sich folgende Alternativhypothese:

H_A : „Zeitgraderhöhungen verändern in weniger als 9 von 10 Situationen die physiologischen Belastung/Beanspruchung.“

Aufgrund der aufgestellten Nullhypothese handelt es sich um einen linksseitigen Test. Dieser soll mit einem Signifikanzniveau von 5 % untersucht werden.

4.2 Definition der Null- und Alternativhypothese zum erhöhten Ausschuss aufgrund von Nachtarbeit

Eine weitere Fragestellung ergab sich aus Abbildung 3.4, die einen betriebswirtschaftlichen Effekt auf die Herstellung von Produkten hat:

2. Sind während der Nachtarbeit erhöhte Kosten hinsichtlich des Ausschusses zu verzeichnen?

Die Nullhypothese wurde auf Basis von existierenden Untersuchungen folgendermaßen formuliert:

H₀: „Aufgrund des zirkadianen Rhythmus besteht in der Nacht eine erhöhte Fehlerausschussquote. Der Ausschuss steht in Wechselwirkung zum zirkadianen Rhythmus. Es ist zu erwarten, dass die Untersuchung in dieser Arbeit ein ähnliches Ergebnis mit einer maximalen Abweichung von 5 % zur damaligen Untersuchung von Abbildung 3.4 aufzeigt.“

Die entsprechende Alternativhypothese dazu lautet:

H_A: „Die ursprüngliche Untersuchung aus Abbildung 3.4 steht in keinem direkten Zusammenhang mit gegenwärtigen Untersuchungen und weicht deshalb mit mehr als 5 % davon ab.“

Auch die zweite Hypothese entspricht einem rechtsseitigen Test, der ebenfalls mit einem Signifikanzniveau von 5 % untersucht wurde.

4.3 Beschreibung einer Annahme bezüglich anthropometrischer Einflüsse

Kapitel 5 beschäftigt sich mit konkreten Untersuchungen. Es wurden hierzu diverse Parameter verfolgt. Dadurch ergaben sich weitere Fragestellungen:

3. Inwiefern haben anthropometrische Eigenschaften einen Einfluss auf die physiologische Belastung an Akkordarbeitsplätzen?

Die bisherigen Erfahrungen lassen folgende Aussage zu:

H₀: „Die Anthropometrie hat einen Belastungseinfluss auf Ak-

kordarbeitsplätze. Dies ist eindeutig erkennbar und mindestens an 75 % aller untersuchten Einflussfaktoren zu erkennen.“

Auch zu dieser Nullhypothese wurde eine Alternativhypothese aufgestellt, die folgendermaßen lautet:

H_A: „Die Anthropometrie hat einen Belastungseinfluss auf Akkordarbeitsplätze, allerdings ist dieser nicht immer eindeutig zu erkennen. In weniger als $\frac{3}{4}$ aller Messwerte war dieser transparent.“

Im Vergleich zu den vorherigen Hypothesen, handelt es sich hierbei um einen linksseitigen Test. Begründet dadurch, dass ein p-Wert gesucht wird, der $\geq 75\%$ ist. Um den Standard beizubehalten, wurde das Signifikanzniveau auch für diesen Fall mit 5 % definiert.

4.4 Beurteilungsgrad der Leitmerkalmethode „manuelle Arbeit“ (E)

Weiterhin wurden in dieser Arbeit diverse Beurteilungs- und Bewertungsmethoden kritisch hinterfragt. Hierzu soll die vorliegende Arbeit eine Möglichkeit zur ergonomischen Beurteilung bzw. Bewertung von physiologischen Belastungen bieten. Deshalb wurden die vorhandenen Fragestellungen um folgende ergänzt:

4. Gibt es einfach anzuwendende Methoden, die eine reelle Belastung widerspiegeln?

Belastbare Fakten sind nur durch eine Ist-Erfassung der Belastungen möglich. Aus wirtschaftlichen Gründen, wird eine Methode gesucht, die mit einer akzeptablen Unschärfe eine Tendenz bezüglich der physiologischen Belastung erkennen lässt.

Hierzu beschäftigt sich die Arbeit mit folgender Nullhypothese:

H₀: „Die Leitmerkalmethode (Variante 3: „manuelle Arbeit“) reflektiert eine einfache Methode zur tendenziellen Beurteilung der Belastungsschwere von Arbeitsvorgängen. Dies ist dadurch erkennbar, dass zwischen der reellen Belastungsintensität und der Beurteilung nach der Leitmerkalmethode eine

maximale Abweichung in der Belastungsrangfolge von $p \leq 0,1$ besteht.“

Die Alternativhypothese wurde folgendermaßen definiert:

H_A: „Die Leitmerkalmethode (Variante 3: „manuelle Arbeit“) weicht in diesem Untersuchungsbeispiel in der Rangfolge der Arbeitsplätze in mehr als 10 % aller Fälle von der reellen Belastungsrangfolge ab.“

Die Hypothese im vierten Fall entspricht einem rechtsseitigen Test. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf 5 % festgelegt.

In den weiterführenden Kapiteln wird anhand der Untersuchungsergebnisse Stellung zur jeweiligen Hypothese bezogen.

5 Untersuchungsmethodik/Empirik

Nachdem alle theoretischen Grundlagen, mögliche Beurteilungs- bzw. Bewertungsmethoden und entstandene Fragestellungen vorlagen, konnte das weitere Vorgehen festgelegt werden.

Hierzu wurde zunächst die Methodik definiert. Kapitel 5.2 legte die arbeitswissenschaftlich und betriebswirtschaftlich sinnvollste Beurteilungs- bzw. Bewertungsmethode fest. Den Abschluss der Untersuchungsmethodik bildete das letzte Unterkapitel mit dem Vorgehen zum durchgeführten Interview.

5.1 Empirische Parameterstudie mittels Versuchsplanung (DoE)

Eine bewährte und effektive Methode zur Optimierung von Prozessen ist mittels statistischer Versuchsplanung (**Design of Experiments**) möglich. Diese eignet sich für einfache Optimierungen, ist aber für den Einsatz bei komplexen Zusammenhängen unverzichtbar.

Das Prinzip baut auf statistischen Modellen auf. Hierzu wird/werden zum Beispiel die Regressionstheorie oder/und neuronale Netze genutzt.

Ein entscheidender Durchbruch gelang der Methodik vor ca. zehn Jahren, als IT-Tools die Benutzbarkeit erleichterten.

Der Versuchsplan benötigt für die Verarbeitung definierte Eingangsgrößen, die den „Versuchsraum“ bilden. Auf Basis dieser Werte und einer Rasterung, die durch den Operator beeinflussbar ist, wird ein Versuchsplan erzeugt.

Nach Durchführung dieser Messungen werden die Messdaten in das genutzte Softwareprogramm eingegeben, welches mittels Polynommodellen ein interpretierbares Ergebnis berechnet. [IAV-05], S. 10-12.

Zur wirtschaftlichen Parametrisierung wurde in diesem Fall das IT-Tool MODDE 9.1 eingesetzt. Es soll einen Beitrag zur Findung weiterer arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse leisten.

Der Versuchsplan wurde hinsichtlich folgender Faktoren untersucht:

1. **Akkordarbeitsgänge** (AG 1 - AG 6)
 (vgl. Kapitel 2.1.1)
2. **Anthropometrie** (5. Perzentil bzw. 95. Perzentil)
 (vgl. Kapitel 2.1.5))
3. **Zeitgrad** (100 % bzw. 132 %)
 (vgl. Kapitel 2.2.2)

Als Zielgröße wurde die muskuläre Belastung (adjustiertes EMG) definiert, welche später durch Verrechnung mit der individuellen Maximalkraft als adjustierte Kraft angetragen wurde. Für die Ist-Analyse entstand ein Versuchsplan, der die Wechselwirkungen der einzelnen Parameter als vollfaktorielles Modell betrachtet. Ein vollfaktorielles Modell ist dadurch gekennzeichnet, dass alle möglichen Kombinationen systematisch variieren [ORT-06], S. 9. Dadurch ergaben sich $2 \times 2 \times 6$ Kombinationen. Diese 24 Kombinationen wurden durch zwei zusätzliche Versuche (untere Einstellung) ergänzt, damit eine Bewertung der Messstreuung das Ergebnis erhärtete. Eine weitere Eigenschaft des Versuchsplans stellte die Linearität dar, die in Kombination mit den Termen parametrisiert wurde. Das lineare Modell berücksichtigt die Eigenschaften der Regressionsanalyse und erhöht die Zuverlässigkeit des Ergebnisses. Es entstand ein Versuchsplan mit $24 + 2$ Kombinationen.

Datum	DoE-Nr.	Tätigkeitsbeschreibung	Messzeit	Anthropo- metrie[mm]	Arbeits- gang	Ort	Arbeits- aus- führung	Zeitgrad [%]
06.08.2012		Anreise (~ 6 Stunden)						
06.08.2012		Vor-Ort Abstimmung für 1. Messtag						
07.08.2012		Vorbereitung (Sensoren anlegen, Messgeräte aufbauen,...)	08:00-09:30	Frau C. P.				
07.08.2012	16	1. Messung	09:30-10:00	1470	AG1	AF3/1	stehend	132
07.08.2012		Mittagspause (Frühschicht)	10:00-10:30					
07.08.2012	2	2. Messung	10:40-11:10	1470	AG1	AF3/1	stehend	100
07.08.2012		Wechsel zu Arbeitsplatz 3	11:10-11:20					
07.08.2012	8	3. Messung	11:20-11:50	1470	AG3	AF3/1	sitzend	132
07.08.2012		Mittagspause und Neujustierung Messeinrichtung	11:50-13:00					
07.08.2012	9	4. Messung	13:10-13:40	1470	AG3	AF3/1	sitzend	100
07.08.2012		Wechsel zu Arbeitsplatz 1	13:40-13:42					
07.08.2012	6	5. Messung	13:42-14:00	1470	AG1	AF3/1	stehend	100
07.08.2012	22	6. Messung	14:00-14:30	1470	AG1	AF3/1	stehend	100
07.08.2012		Schichtwechsel und Wechsel zu Arbeitsplatz 2	14:30-14:33					
07.08.2012	13	7. Messung	14:33-15:00	1470	AG2	AF3/6	stehend	132
07.08.2012	7	8. Messung	15:00-15:30	1470	AG2	AF3/6	stehend	100
07.08.2012		Wechsel zu Arbeitsplatz 6	15:30-15:35					
07.08.2012	18	9. Messung	15:35-16:15	1470	AG6	AF3/1	stehend	132
07.08.2012		Abbau der Messmittel (Ende 1. Messtag)	16:15-17:00					
08.08.2012		Vorbereitung (Sensoren anlegen, Messgeräte aufbauen,...)	08:00-09:10					
08.08.2012	12	10. Messung (30 Minuten)	09:30-10:00	1470	AG6	AF3/1	stehend	100
08.08.2012	26	11. Messung	09:10-09:50	1470	AG4	AF3/6	stehend	132
08.08.2012		Mittagspause (Frühschicht), Wechsel zu Arbeitsplatz 4	10:00-10:30					
08.08.2012	5	12. Messung	10:40-11:10	1470	AG4	AF3/6	stehend	100
08.08.2012	1	13. Messung	11:10-11:40	1470	AG5	AF3/6	stehend	132
08.08.2012	15	14. Messung	11:40-12:10	1470	AG5	AF3/6	stehend	100
08.08.2012		Mittagspause und Neujustierung Messeinrichtung	12:30-13:15					
08.08.2012		Probandenwechsel	13:15-14:30	Frau T. K.				
08.08.2012	20	15. Messung	14:35-15:05	1715	AG5	AF3/6	sitzend	132
08.08.2012	4	16. Messung	15:05-15:40	1715	AG5	AF3/6	sitzend	100
08.08.2012	19	17. Messung	15:40-16:10	1715	AG4	AF3/6	sitzend	132
08.08.2012	17	18. Messung	16:10-16:40	1715	AG4	AF3/6	sitzend	100
08.08.2012		Abbau der Messmittel (Ende 2. Messtag)	16:40-17:15					
09.08.2012		Vorbereitung (Sensoren anlegen, Messgeräte aufbauen,...)	08:00-09:00					
09.08.2012	11	19. Messung	09:00-09:30	1715	AG2	AF3/6	stehend	132
09.08.2012	25	20. Messung	09:30-10:00	1715	AG2	AF3/6	stehend	100
09.08.2012		Mittagspause (Frühschicht) und Wechsel zu Arbeitsplatz 3	10:00-10:30					
09.08.2012	23	25. Messung	10:35-11:00	1715	AG3	AF3/1	sitzend	132
09.08.2012	3	26. Messung	11:00-11:40	1715	AG3	AF3/1	sitzend	100
09.08.2012		Mittagspause und Neujustierung Messeinrichtung	12:00-13:10					
09.08.2012	24	21. Messung	13:20-13:50	1715	AG6	AF3/1	stehend	132
09.08.2012	10	22. Messung	13:50-14:20	1715	AG6	AF3/1	stehend	100
09.08.2012		Wechsel zu Arbeitsplatz 1	14:20-14:25					
09.08.2012	21	23. Messung	14:25-14:55	1715	AG1	AF3/1	stehend	132
09.08.2012	14	24. Messung	14:55-15:25	1715	AG1	AF3/1	stehend	100
09.08.2012		Abbau der Messmittel (Ende der Messungen)	15:25-16:00					
09.08.2012		Abschlussdiskussion, weitere Vorgehensweise	16:00-16:30					
10.08.2012		Abreise (~ 6 Stunden)						
Schichtzeiten:			06:00 - 14:30 Uhr	Frühschicht				
			14:30 - 22:00 Uhr	Spätschicht				
			22:00 - 06:00 Uhr	Nachtschicht				
Mittagspausen am Akkordband:			10:00 - 10:30 Uhr					
			18:00 - 18:30 Uhr					
			03:00 - 03:30 Uhr					
Arbeitszeiten für Messungen:			1. Messtag: 08:00 - 17:00 Uhr					
			2. Messtag: 08:00 - 17:45 Uhr					
			3. Messtag: 08:00 - 17:30 Uhr					

Abbildung 5.1: Messplan der durchgeführten Arbeitsplatzbewertung

(Quelle: eigene Darstellung)

5.2 Ausgewählte Methoden zur Erhebung der physiologischen Belastung/Beanspruchung

Kapitel 3.4.3 zeigte einige Beurteilungs-/Bewertungsmethoden auf, die für den Einsatz von Arbeitsplatzmessungen möglich wären.

Eine Zusammenfassung in Form einer Matrix sollte letztendlich darüber Aufschluss geben, welche Beurteilungs-/Bewertungsmethode aus arbeitswissenschaftlicher Sicht den effektivsten Einsatz für die Untersuchung darstellte.

	Zur Verifizierung folgender Körperregionen geeignet	Beurteilung/ Bewertung (anhand der Körperregionen)	Bemerkung	Gesamturteil
Body Map	Alle Körperregionen	++	Gut anwendbar, allerdings unterliegt die Methode einem hohen Anteil an Subjektivität	+
Slesina	Alle Körperregionen	++	Gut anwendbar, allerdings ausschließlich ein Fragenkatalog	+
RULA	Obere Extremitäten (Schulter)	-	Primär für Tätigkeiten auf Schultere ebene geeignet	-
Kilbom	Obere Extremitäten	+	Einfache Methode, die Erfahrung bei der Auswertung erfordert, allerdings zu oberflächlich	+
Leitmerkalmethode	Alle Körperregionen	+	Variante 3: "Manuelle Arbeitsprozesse" für diese Arbeitsplätze geeignet	+
CUELA	Alle Körperregionen	++	In Kombination mit EMG auch Kraftmessungen möglich	++
OWAS-Verfahren	Alle Körperregionen	++	OWAS wird für Hebe-/Halte-und Tragetätigkeiten genutzt	+
NIOSH-Verfahren	Alle Körperregionen	++	NIOSH wird für Hebe-/Halte-und Tragetätigkeiten genutzt	+
HAL	Hand	-	Methode nur für den Bereich der Hände geeignet	-
OCRA-Index	Hand, Arm	-	Gut anwendbar, allerdings ausschließlich eine subjektive Einschätzung	-
++ sehr gut anwendbar + = geeignet - = ungeeignet				

Tabelle 5.1: Matrixbeurteilung der vorgestellten Beurteilungs- und Bewertungsmethoden

(Quelle: eigene Darstellung)

Aus der Matrix kristallisiert sich heraus, dass es für die beschriebenen Arbeitsvorgänge dieser Untersuchung nur eine Methode gibt, bei der mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von einem optimalen Ergebnis auszugehen ist. Es sind zwar mehrere Methoden geeignet, allerdings sind z.B. das NIOSH/OWAS-Verfahren primär für Hebe-/Halte- und Tragetätigkeiten geeignet. Deshalb wurde für das Fallbeispiel dieser Arbeit das CUELA Verfahren in Kombination mit dem Zusatzmodul für Elektromyografie als arbeitswissenschaftlich sinnvollste Bewertungsmethode angesehen. Diese wurde speziell für Muskel- und Skelettkrankheiten entwickelt und bietet mittels feinsten Sensorik prozesssichere Datenreihen. Mit dem Zusatzmodul wurde zusätzlich die Möglichkeit zur Messung der muskulären Beanspruchung in den Problembereichen (z. B. Handgelenke) gewährleistet.

Parallel dazu kam die **Leitmerkmal**methode (LMM) zur Anwendung, da diese Methode im Hause MANN+HUMMEL den gegenwärtigen Standard bei Arbeitsplatzbeurteilungen darstellt und sich mehrere Mitarbeiter aus den verschiedenen Fachbereichen an der Beurteilung beteiligen wollten. Dadurch war zum einen die Überprüfung der Hypothese aus Kapitel 4.4 und zum zweiten ein direkter Vergleich zwischen beiden Erhebungsergebnissen möglich. Des weiteren wurde den Teilnehmern der LMM ein Einblick bezüglich ihrer subjektiven Einschätzungen gewährt.

Abhängig vom Verbesserungspotential dieser Arbeit soll das CUELA-Verfahren zukünftig für ergonomisch kritische Arbeitsvorgänge zur Anwendung kommen.

Um die Durchführung unter systematischen Gesichtspunkten abhandeln zu können, wurde ein Algorithmus konzipiert, die Vorgehensweise beschreibt Abbildung 5.2.

Dabei enthalten alle Aufgabenpakete, die zusätzlich mit „x“ gekennzeichnet wurden (z. B. 1.x) Unteraufgaben, die detailliert der Anlage 13.3 bzw. dem Terminplan in Anlage 13.4 zu entnehmen sind. So sind zum Beispiel unter dem Aufgabenpaket 1.x sechs Arbeitsvorgänge (vgl. Abbildung 2.1) zu finden. Diese wurden mit den aus arbeitswissenschaftlicher Sicht günstigen Methoden zur Beurteilung/Bewertung von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen erfasst (2.x). Um Rückschlüsse ziehen zu können, erfolgte parallel zu den Messungen die Aufzeichnung von signifikanten Faktoren (3.x). Die dadurch erhaltenen Daten wurden statistisch zusammengefasst und sind Umfang des Aufgabenpaketes 4.x. In einem weiteren Schritt konnten die Daten verdichtet werden. Dieser Vorgang war eine Grundvoraussetzung, um mathematische Funktionen zu den jeweiligen Faktoren aufzustellen zu können (5.x). Mithilfe dieser mathematischen Zusammenhänge war die Programmierung einer eigenständigen Software zur Berechnung von Gesamtbelastungen/-beanspruchungen (6.0) der oberen Extremitäten bei Montagetätigkeiten möglich. Ein weiterer Nutzen der Arbeit war die Ableitung von technischen und organisatorischen Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen, die durch das Aufgabenpaket 7.x gekennzeichnet sind. Der Algorithmus endet mit dem

Aufgabenpaket „Darstellung der Ergebnisse (8.0)“, welches inhaltlich Kapitel 6, 8, 9 und 10 entspricht.

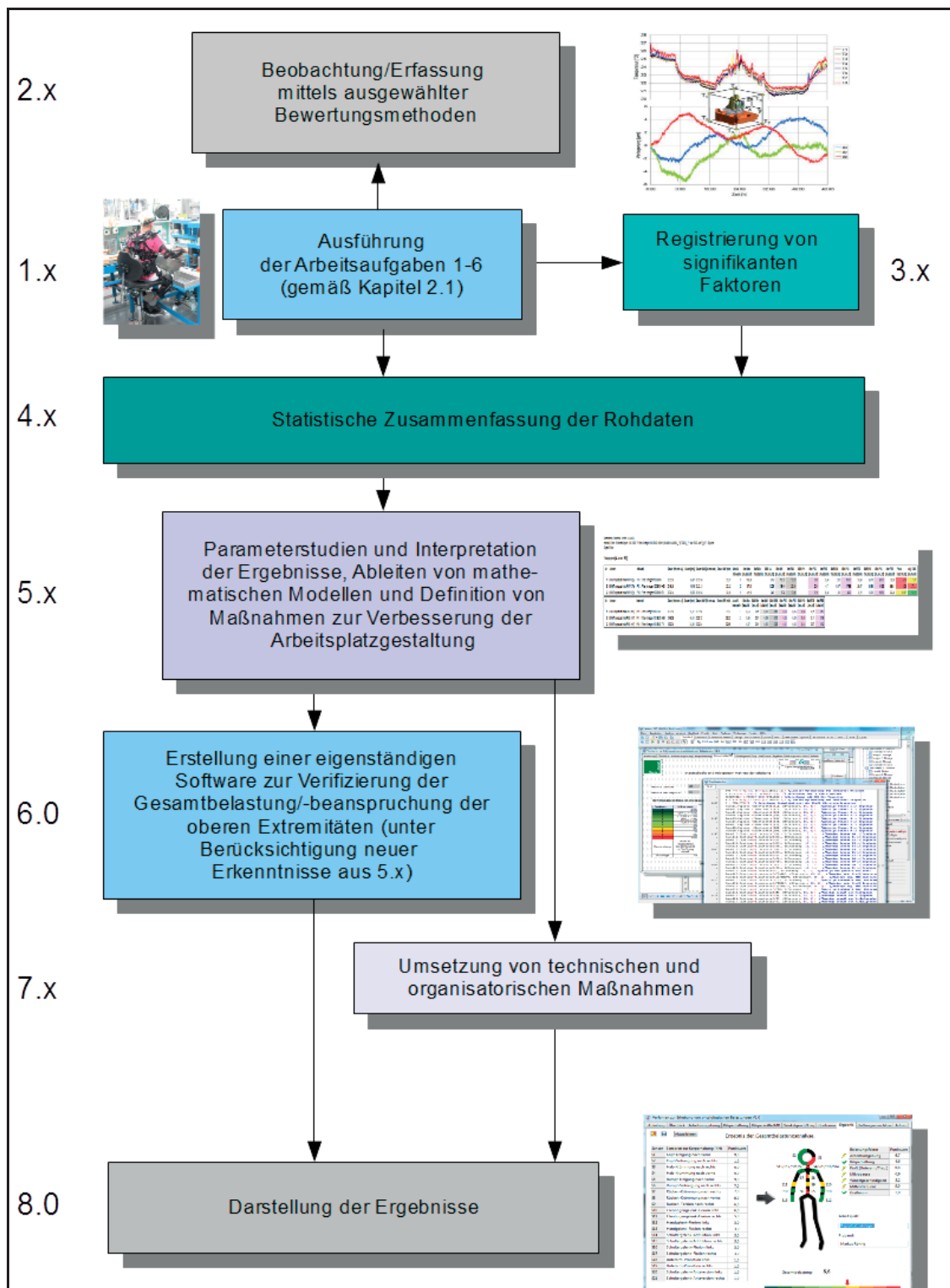


Abbildung 5.2: Algorithmus zur Untersuchungsmethodik/Empirik

(Quelle: eigene Darstellung)

Ein anderer Betrachtungswinkel ist der terminliche Aspekt, der in Anlage 13.4 in Form eines Gantt Diagrammes dargestellt wird.

Die beiden auserwählten Bewertungsverfahren werden im Folgenden detailliert beschrieben.

5.2.1 CUELA-Verfahren in Kombination mit Elektromyografie

Die Bewertungsmethode wurde bereits in Kapitel 3.4.3.6 beschrieben. Das Messverfahren bietet allerdings auch die Möglichkeit, weitere Zusatzmodule anzubinden.

Neben einem Krafthandschuh, der die zusätzliche Ermittlung von Greifkräften ermöglicht, kann eine **Elektrokardiografie**-Aufnahme (EKG-Aufnahme) erfolgen. Weitere optionale Möglichkeiten bietet das Zusatzmodul für Ganzkörpervibrationen, das **Elektromyografie**-Modul (EMG-Modul) oder externe Kraftsensoren, die eine dreidimensionale Kraftmessung ermöglichen [ELL-06], S. 5.

Da die definierten Arbeitsvorgänge aufgrund der Befragungsergebnisse eine hohe Muskelbeanspruchung vermuten lassen, wurde das EMG-Zusatzmodul in die Messung mit integriert.

Bei der Elektromyografie handelt es sich um einen Vorgang, der durch physiologische Zustandsänderung der Muskelfasermembranen erzeugt wird. Das Verfahren erfasst die muskuläre Beanspruchung der spezifizierten Arbeitsabläufe. Durch Generierung von Natrium-Ionen im Muskelfasermembran wird ein elektrischer Impuls ausgelöst. Dieser führt zu einem Aktionspotential, welches in Form einer Spannungsamplitude darstellbar ist [KON-05], S. 4. Da diese Spannungsamplituden durch einige Faktoren (z. B. externe Störsignale) ein Rauschen verursachen, ist es sinnvoll das Rohsignal durch bekannte mathematische Verfahren zu filtern. Bekannt ist in diesem Fall das RMS-Verfahren (**R**oot **M**ean **S**quare-Verfahren), welches den Standard [KON-05], S. 27, für diese Art von Filterung darstellt. Dieses Glättungsverfahren wurde auch für die durchgeführten Messungen angewandt.

Zudem musste das gefilterte Signal für die weitere Verarbeitung normalisiert werden. Die gängigste Methode hierzu ist die MVC-Normalisierung (**M**aximum

Voluntary Contraction) [KON-05], S. 29. Hierbei wird die Maximalkraft gemessen und entsprechend justiert (vgl. Gleichung 5.1). Der entscheidende Vorteil dieser Methode ist die Reskalierung zu einem definierten Bezugspunkt. Damit sind z. B. Beanspruchungsgrößen vom Muskel bei verschiedenen Probanden klar differenzierbar [KON-05], S. 33.

Die Messungen wurden gemäß des Messplanes aus Abbildung 5.1 in der Kalenderwoche 32/2012 vom 06.08.2012 bis 09.08.2012 durchgeführt. Im Anschluss daran erfolgte die umfangreiche Analyse der Aufzeichnungen. Wie bereits als Nachteil des Verfahrens beschrieben, wurde hierzu eine spezielle Software verwendet, die eine statistische Auswertung der Daten ermöglicht und nur von CUELA-Experten durchführbar ist. Um die Datenmenge mit statistischen Merkmalen belegen zu können, wurde die Datenmenge nach statistischen Gesichtspunkten komprimiert. Ein Beispiel dazu ist auf Seite 103 (Abbildung 6.8) dargestellt. Die darunterliegende Abbildung gibt einen Einblick in das Auswerteprogramm. Diese soll die Komplexität der Datenerfassung repräsentieren:

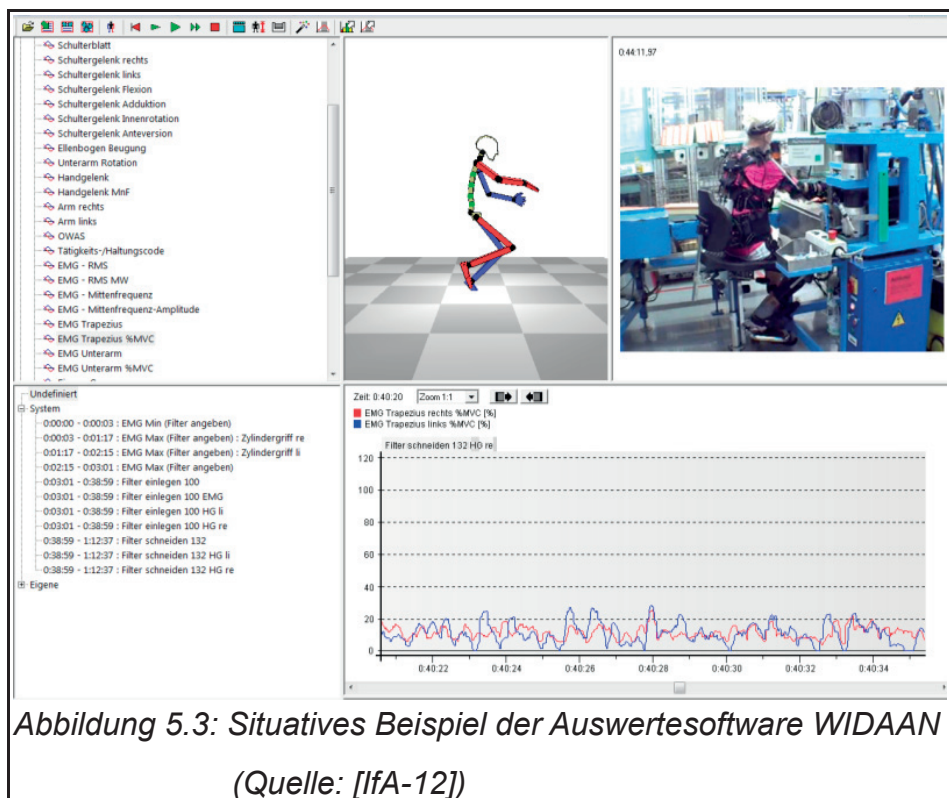
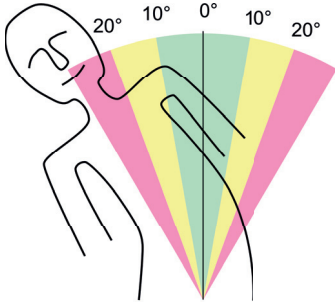
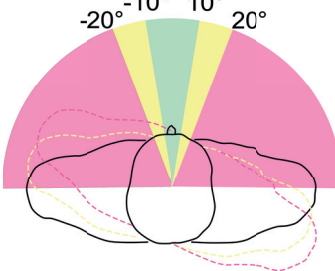
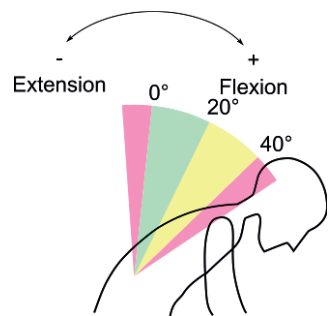
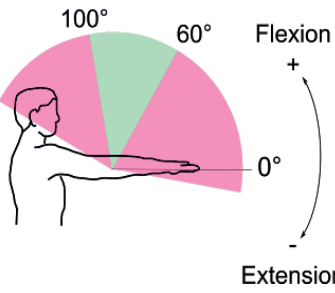
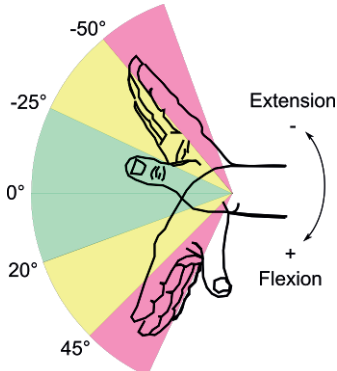
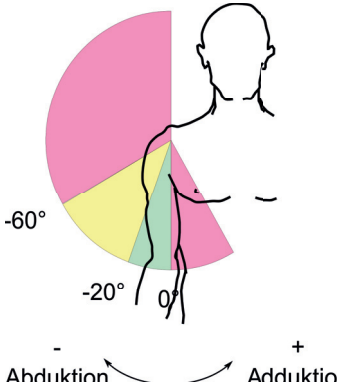
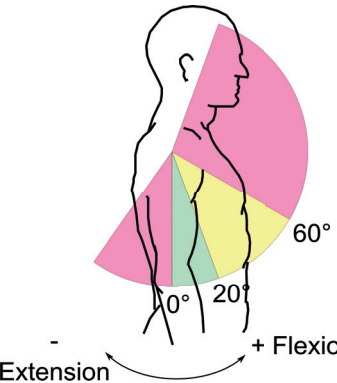


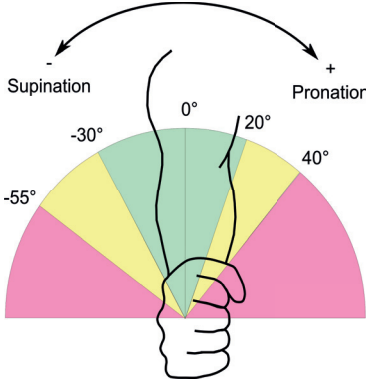
Abbildung 5.3: Situatives Beispiel der Auswertesoftware WIDAAN
(Quelle: [IfA-12])

Dabei wurde die Sensorik an folgenden Körperregionen fixiert und nach den dargestellten Grenzwerten untersucht:

Bezeichnung der Körperregion	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung	
Kopfniegung 	+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)	grün: 0° - 25° gelb: 25° - 85° rot: >85° \wedge <0°	Quelle: ISO 11226
Kopfseitnigug 	+: nach rechts -: nach links	grün: -10° - 10° rot: <-10° \wedge >10°	Quelle: DIN EN 1005-4
Halskrümmung 	+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)	grün: 0° - 25° rot: >25° \wedge <0°	Quelle: ISO 11226
Rumpfniegung 	+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)	grün: 0° - 20° gelb: 20° - 60° rot: >60° \wedge <0°	Quelle: ISO 11226

Bezeichnung der Körperregion	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung	
Rumpfsseitneigung 	+: nach rechts -: nach links	grün: gelb: rot:	-10° - 10° -10° - -20° ^ 10° - 20° <-20° ^ >20° Quelle: ISO 11226)
Rückentorsion 	+: nach rechts -: nach links	grün: gelb: rot:	-10° - 10° -10° - -20° ^ 10° - 20° <-20° und >20° Quelle: ISO 11226
Rückenkrümmung 	+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)	grün: gelb: rot:	0° - 20° 20° - 40° >40° ^ <0° Quelle: IfA
Ellenbogengelenk Flexion 	+: Beugung des Unterarms (Flexion) -: Streckung des Unterarms (Extension)	grün: rot:	60° - 100° <60° ^ >100° Quelle: McAtamney, Corlett

Bezeichnung der Körperregion	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung	
Handgelenk Flexion 	+: zur Handfläche hin (Flexion) -: zum Handrücken hin (Extension)	grün: -25° - 20° gelb: -25° - -50° \wedge 20° - 45° rot: <-50° \wedge >45°	Quelle: Drury
Schultergelenk Adduktion 	+: zum Körper hin (Adduktion) -: vom Körper weg (Abduktion)	grün: 0° - -20° gelb: -20° - -60° rot: <-60° \wedge >0°	Quelle: DIN EN 1005-4
Schultergelenk Flexion 	+: nach vorne (Flexion) -: nach hinten (Extension)	grün: 0° - 20° gelb: 20° - 60° rot: <0° \wedge >60°	Quelle: DIN EN 1005-4

Bezeichnung der Körperregion	Bewegungsrichtung	Richtwerte für die Bewertung	
Unterarm Pronation 	+: Handfläche nach unten (Pronation) -: Handfläche nach oben (Supination)	grün: gelb: rot:	-30° - 20° -30° - -55° ^ 20 - 40° <-55° ^ >40° Quelle: Drury
Tabelle 5.2: Genutzte Sensortechnik während der CUELA-Messungen (Quelle: vgl. [HOE-07], 73-75)			

Arbeitsausführung erzwungen wurde, alle Zonen (grün = günstig; gelb = moderat; rot = ungünstig) durchschritten wurden, musste eine Selektierung der Datenmenge erfolgen. Zur Priorisierung wurden deshalb alle Messwerte mit der Häufigkeit des Auftretens abgeglichen. Werte oberhalb von 30 % wurden als signifikant betrachtet und entsprechend analysiert bzw. dokumentiert (vgl. Kapitel 10). Diese Definition hat sich für diesen Fall als günstig erwiesen und basiert auf der Häufigkeitsverteilung der aufgezeichneten Messwerte während der Messungen.

Neben der Körperhaltung waren auch die Bewegungsgeschwindigkeit der Körperbereiche und die Mittenfrequenz weitere bedeutsame Kenngrößen. Dazu wurden die Geschwindigkeiten und Frequenzen für signifikante Körperpartien analysiert und in Form einer **Winkelgeschwindigkeit** bzw. einer **Mittenfrequenz** nach HANSSON [HAN-09] abgeglichen.

Das dazugehörige Bewertungsschema kann aus Literatur vom 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 22. bis 24. Februar 2012 [GfA-12], S. 425, bzw. unter [GLI-12], S. 3, entnommen werden.

Die Autoren [GLI-12] haben hierzu folgende Festlegung getroffen:

Winkelgeschwindigkeiten zwischen $11^\circ/\text{s}$ und $23^\circ/\text{s}$, sind tolerierbar, allerdings zu beobachten. Alle Winkelgeschwindigkeiten über $23^\circ/\text{s}$ gelten als schädigend. Es sind entsprechende Maßnahmen einzuleiten [GfA-12], S. 425, bzw. [GLI-12], S. 3.

Für die Mittenfrequenz liegt der Grenzwert bei $\geq 0,4$ Hz. Werte unterhalb von 0,25 Hz sind als unkritisch anzusehen [GfA-12], S. 425, bzw. [GLI-12], S. 3.

Ein fiktives Beispiel soll das Vorgehen verdeutlichen:

Zugrunde liegt die Annahme, dass die Messungen für Probandin 1 beim Arbeitsgang „X“ einen Anteil von 40 % an ungünstigen Körperhaltungen hinsichtlich der „Kopfneigung nach vorne“ ergeben hätten. Die „Rückenkrümmung nach rechts“ hätte einen Anteil von 15 % an ungünstigen Körperhaltungen enthalten. Weiterhin wird angenommen, dass die Winkelgeschwindigkeit für die „Kopfneigung nach vorne“ $\sim 9^\circ/\text{s}$ betrug und für die „Rückenkrümmung nach rechts“ $12^\circ/\text{s}$ ergab. Die Mittenfrequenz liegt bei diesem Szenario für beide Bewegungen bei einer Frequenz von 0,70 Hz.

Aus diesem fiktiven Beispiel wäre folgende Schlussfolgerung für die Einflussfaktoren „Körperhaltung, Winkelgeschwindigkeit und Mittenfrequenz“ zu ziehen:

Bezüglich der Körperhaltung hätte eine genauere Analyse der „Kopfneigung nach vorne“ stattgefunden, da diese die Häufigkeitsgrenze von 30 % (Ist: 40 %) überschritten hätte. Das Messergebnis für die „Rückenkrümmung nach rechts“ wäre nicht beachtet worden, begründet dadurch, dass die Häufigkeit von ungünstigen Körperhaltungen in Bezug auf die Gesamtzeit unter 15 % gewesen wäre. Auch die Winkelgeschwindigkeit für die Körperregion „Kopfneigung nach vorne“ wäre nicht weiter analysiert worden, da diese mit $9^\circ/\text{s}$ unter dem Grenzwert von $11^\circ/\text{s}$ gelegen hätte. Im Gegensatz dazu wäre die „Rückenkrümmung nach rechts“ beachtet worden, da diese mit $12^\circ/\text{s}$ oberhalb des Grenzwertes gelegen hätte. Und auch die Mittenfrequenz wäre für beide Körperregionen mit 0,7 Hz in den Betrachtungsfokus gefallen, da die Bedingung $0,7 \text{ Hz} \geq 0,4 \text{ Hz}$ erfüllt worden wäre.

Ein weiteres bedeutsames Merkmal stellt die **Mikropause** dar. Ist die kumulierte Pausendauer stark frequentierter, manueller Arbeiten kleiner als 10 %, hat der Muskel nicht ausreichend Zeit zur Regeneration und es kann während der Tätigkeitsausführung zu Leistungseinbußen bzw. im schlechtesten Fall zum Leistungsausfall des Menschen kommen [GfA-12], S. 425 bzw. [GLI-12], S. 3.

Neben den beschriebenen Merkmalen, erfolgte auch eine indirekte Ermittlung der spezifischen **Körperkräfte**.

Aus den EMG-Messungen konnte der adjustierte Wert für die EMG berechnet werden. Dazu gilt folgende Berechnungsgrundlage [GLI-12], S. 4:

$$EMG_{adj} = \frac{VAR(EMG)}{\overline{EMG}} + \overline{EMG} \quad 5.1$$

mit EMG_{adj} = adjustierter Wert für den EMG-Messwert [% MVC]
 VAR = Varianz der einzelnen EMG-Werte [(% MVC)²]
 \overline{EMG} = arithmetischer Mittelwert aus EMG-Messungen [% MVC]

[GLI-12], S. 4

Die Varianz dazu wird aus dem arithmetischen Mittelwert aller quadratischen Abweichungen der Einzelwerte berechnet [PAP-01], S. 338.

Um den individuellen Faktor, der Maximalkraft unter isometrischen Bedingungen in die Gleichung zu integrieren, ist eine Multiplikation mit der adjustierten EMG-Messung notwendig.

Da abhängig von der physiologischen Leistungsfähigkeit und der täglichen Konstitution die Maximalkraft schwanken kann [HAR-13], S. 36-37, wurde unmittelbar vor den Messungen jeder Proband einer individuellen Maximalkraftmessung unterzogen. Mit diesem zusätzlichen Faktor war eine Adjustierung der benötigten Kraft unmittelbar vor den Messungen möglich.

Diese errechnet sich folgendermaßen:

$$F_{adj} = \left(\frac{VAR(EMG)}{\overline{EMG}} + \overline{EMG} \right) \cdot F_{max} \quad 5.2$$

mit F_{adj} = adjustierte Kraft [N]

F_{\max} = Maximalkraft

[N]

[SIL-86], S. 780

5.2.2 Leitmerkalmethode „manuelle Arbeit (E)“

Die prinzipielle Vorgehensweise dieser Methode kann dem Abschnitt 3.4.3.5 entnommen werden. Da synchron zur CUELA-Messung auch diese Methode Anwendung fand, wird die praktizierte Vorgehensweise aufgezeigt.

Fünf Personen haben an der Beurteilung teilgenommen. Daran waren Fertigungsspezialisten, Vertreter des Betriebsrates und Mitarbeiter mit REFA-Kenntnissen beteiligt. Jeder der Teilnehmer verfügte über sechs Arbeitsbögen zur Beurteilung der jeweiligen Arbeitsaufgabe. Dieser Arbeitsbogen ist über das Internet verfügbar [BAuA-12-2]. Alle Teilnehmer legten für den jeweiligen Arbeitsvorgang die Zeitwichtung, die Lastwichtung, die Haltungswichtung und die Ausführungswichtung fest.

Problematisch ist dabei die Implementierung verschiedener Arbeitsvorgänge bzw. Arbeitsplätze in einen Arbeitstag. Die Leitmerkalmethode ist nämlich in ihrer Ursprungsform so konzipiert, dass ausschließlich ein Arbeitsvorgang pro Arbeitstag berücksichtigt werden kann. Die Zeitwichtung bei allen Arbeitsvorgängen mit einer 100 %-Auslegung zu definieren, wäre nicht korrekt. Jeder Arbeitsvorgang wird nämlich nur einen gewissen Anteil am Gesamtarbeitstag vollzogen.

Diese Problematik wurde erkannt und deshalb hat die TU Wuppertal in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA) eine abgewandelte Version unter der Bezeichnung „Leitmerkalmethode“, Variante „manuelle Arbeit (E)“ entwickelt. Diese wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Gesamtbelastung} = \text{Teilbelastung}_{\text{Arga}_1} \cdot \frac{t_i}{T} + \text{Teilbelastung}_{\text{Arga}_2} \cdot \frac{t_i}{T} + \dots \quad 5.3$$

mit t_i = Zeitanteil t_i [h]

T = Gesamtzeit [h]

Die Teilbelastungen sind separat mittels Formblatt auszuwerten und entsprechend der Zeitanteile zu gewichten. Die Gesamtbelastung stellt die individuelle Tagesbelastung dar [STE-11], S. 68-70.

5.2.3 Spezifisches Interview zur Lokalisierung von physiologischen Beschwerden während der Akkordarbeit in Schichtsystemen

Unabhängig vom Ergebnis dieser beiden Bewertungsmethoden wurde ein Interview mit ~ 200 betroffenen Personen durchgeführt. Das Ergebnis des Interviews soll einen Einblick gewähren, inwiefern die untersuchten Verfahren mit dem subjektiven Empfinden der betroffenen Personengruppe korrelieren.

Um eine Konzentration auf betroffene Beschwerderegionen vornehmen zu können, musste im ersten Schritt der Beschwerdebereich lokalisiert werden. Es erfolgte eine Spezifikation der Beschwerderegionen, auf der einleitende Maßnahmen aufgebaut wurden.

Die Prognosen aus Kapitel 3.4.1.2 und Kapitel 3.4.1.3 sollten im nächsten Schritt durch einen abgewandelten Fragebogen, wie er in Kapitel 3.4.2 beschrieben wurde, verifiziert werden. Um eine möglichst hohe Rücklaufquote zu erzielen, erfolgte die Abarbeitung in Form eines Interviews.

In Kapitel 7 ist die detaillierte Analyse zur Befragung, sowie das Ergebnis der Erhebung zu finden.

6 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Mit Beginn dieses Kapitels sollen nun die empirisch ermittelten Ergebnisse vorgestellt werden. Dabei erfolgte eine Untergliederung in vier einzelne Unterkapitel.

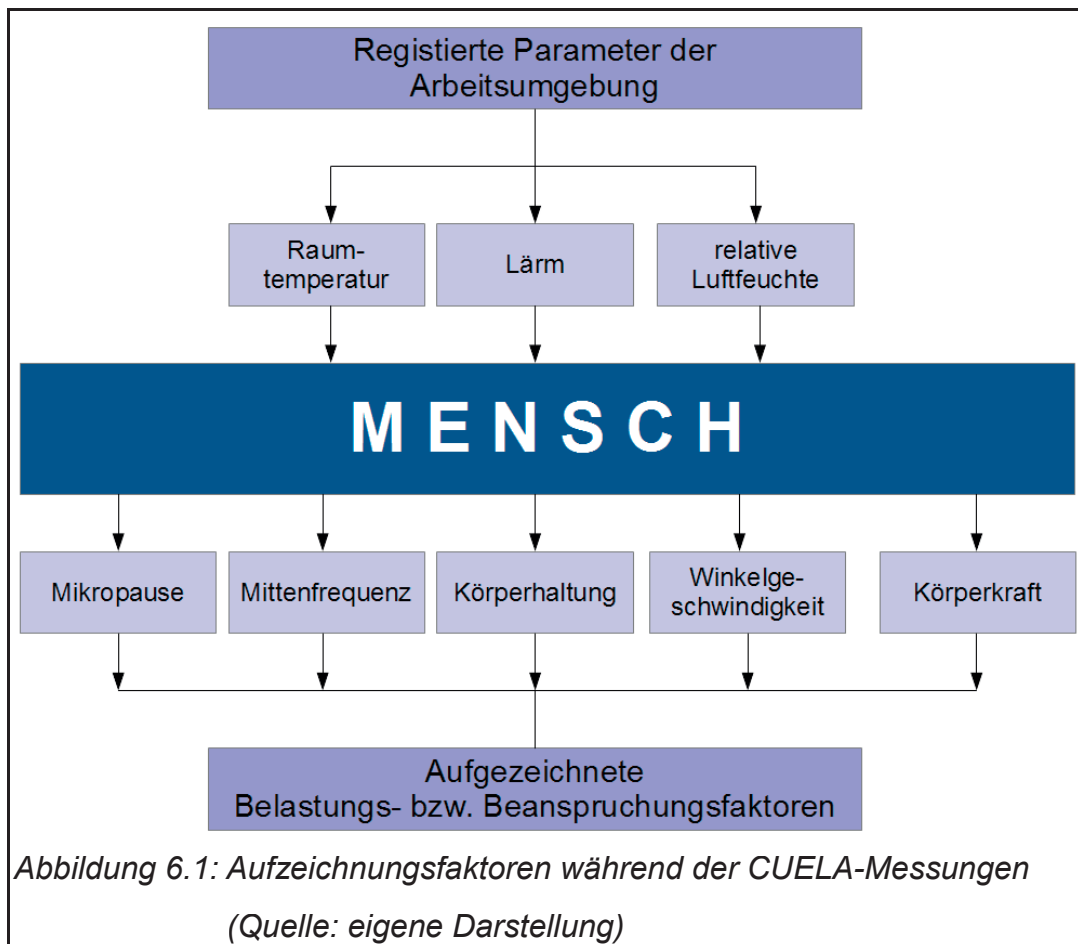
Das erste Unterkapitel (6.1) zeigt Einzelergebnisse der CUELA-Messungen auf und schließt mit einer Zusammenfassung ab.

Kapitel 6.2 beschäftigt sich mit den Ergebnissen der Leitmerkalmethode, Variante „manuelle Arbeit (E)“, die parallel zu den CUELA-Messungen stattfand.

Im darauffolgenden Kapitel wurde ein Abgleich zwischen beiden Verfahren vollzogen.

6.1 CUELA-Verfahren

Wie in Kapitel 5.2.1 ausführlich beschrieben, besteht durch das CUELA-Verfahren die Möglichkeit, den Einfluss von diversen, parallel wirkenden Einflussgrößen aufzuzeichnen. Abbildung 6.1 zeigt die für diese Arbeit signifikanten Einflussfaktoren auf:



Um die Wirkung der einzelnen Faktoren auf die Arbeitsbelastung bzw. die Arbeitsbeanspruchung aufzeigen zu können, wurden diese während der Arbeitsausführung registriert und analysiert.

6.1.1 Beurteilung der Körperhaltung, der Winkelgeschwindigkeit und der Mittenfrequenz

Damit die Transparenz der Daten erhöht werden konnte, wurden die Einzelwerte zu statistisch aussagefähigen Kennzahlen (in sogenannten Box-Plot-Diagrammen / siehe Abbildung 6.8) zusammengefasst. Registriert wurden die in Abbildung 6.1 dargestellten Aufzeichnungsparameter. Die Körperhaltung [°], die Win-

kelgeschwindigkeit [$^{\circ}/s$], die Mittenfrequenz [Hz], die Körperkraft [N] sowie die Mikropause [%].

Die Auswertung der Datenreihen erfolgte in differenzierten Klassen (KL) bzw. für statische Haltungen kam der Begriff der statischen Klasse (KLS) zum Einsatz. Der dazugehörige Zeitanteil wird der Klassenbezeichnung angehängt. Dazu ein Beispiel: Die Bezeichnungen KLS4 und KLS8 stehen für statische Haltungen von vier Sekunden bzw. acht Sekunden.

Um eine Verwechslung der beiden Probandinnen zu vermeiden, erfolgte folgende Festlegung:

Probandin vom 5. Perzentil = Probandin 1 = P1

Probandin vom 95. Perzentil = Probandin 2 = P2

Die Winkelgeschwindigkeit wie auch die Mittenfrequenz wurde bei die Messstellen 10, 11, 12, 13, 18 und 19 berücksichtigt. Nach jedem Kapitelende der jeweiligen Messstelle wurde (wenn möglich) eine Maßnahme zur Reduktion der physiologischen Belastung angegeben. Diese Maßnahmen wurden durch ein eigenständiges Kapitel (6.1.2) nochmals tabellarisch (Tabelle 6.2) zusammengefasst, mit dem Hintergrund, die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Alle definierten Maßnahmen werden zudem in einem Ursache-Wirkungsdiagramm (Abbildung 9.2) abschließend dargestellt.

1. Messstelle: Sensor „Kopfneigung nach vorne“:



Abbildung 6.2: Filterelement verpacken (OEM Variante)
(Quelle: eigene Darstellung)

Die erste Auffälligkeit hinsichtlich vermehrten Auftreten an ungünstigen **Körperhaltungen** konnte an der Messstelle „Kopfneigung nach vorne“ registriert werden. Für die Ursachenanalyse wurde die Situation in der Videoaufzeichnung nachvollzogen. Bei beiden Probandinnen konnte jeweils ein Unterschied festgestellt werden. So generierte die Probandin des 5. Perzentils (Probandin 1) eine Kopfextension im Vergleich zu Probandin 2, die tendenziell eine Kopfflexion aufzeigte (vgl. Tabelle 5.2).

Die graue Körpermittellinie in Abbildung 6.2 lässt die Ursache für die Kopfextension bei Probandin 1 erkennen. Die Arbeitsgegebenheiten sorgen für diesen Umstand, der während der Messungen mit einem Häufigkeitsanteil von 66,2 % vorzufinden war. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Verpackungsart durch den Kunden definiert wird. So ist zum Beispiel die Verpackungsvariante für den OEM-Kunden durch ein einzelnes Ablegen von Produkten in einen Sammelkarton spezifiziert. Im Vergleich dazu wird die OES-Variante in automatisierter Form in Faltkartonagen verpackt und anschließend als Stapel in einen Sammelkarton abgelegt. Dies ist auch der Grund dafür, warum die Kopfextension nur bei Probandin 1 mit einer hohen Häufigkeitsrate vorzufinden war. Probandin 2 führte während ihres Messzeitpunktes die Verpackungsvariante OEM (siehe auch Abbildung 6.21) aus.

Als Fazit für die 1. Messstelle bleibt festzuhalten, dass die ungünstige Körperhaltung durch die Art der Kundenverpackung entstand. Die Problematik sollte zwischen dem Kunden und Lieferanten diskutiert werden. Eventuell sind Optimierungen möglich, die auch eine Attraktivität (z. B. durch Vereinfachung der Verpackung) für den Kunden bieten. Diese Empfehlung wurde in das Ursache-Wirkungsdiagramm (Abbildung 9.2) mit aufgenommen.

2. Messstelle: Sensor „Kopfseitneigung nach rechts“:

Beide Probandinnen hatten teilweise ungünstige **Körperhaltungen** bei den Arbeitsgängen „Filterelement verpacken“ und „Papierbalg einlegen“. So wurden z. B. durch eine Seitwärtsbewegung ein erhöhter zeitlicher Anteil an ungünstigen Kopfseitneigungen registriert, die eine Asymmetrie von ca. -10° zum Optimum (bezogen auf den Mittelwert aller Messungen) erzeugten. Diese ungünstige Körperhaltung hatte allerdings ausschließlich körpereigene Kräfte zu kompensieren und wurde deshalb sekundär betrachtet.

3. Messstelle: Sensor „Halskrümmung nach rechts“:

An der 3. Messstelle wurde die Position der **Körperhaltung** hinsichtlich der Körperregion „Halskrümmung nach rechts“ aufgezeichnet. Die Probandinnen generierten an den Arbeitsvorgängen „Papierbalg einlegen“, „Filterelement entnehmen“ und „Filterelement verpacken“ partiell ungünstige Körperhaltungen.

Ein klassisches Beispiel durch den Einfluss der Anthropometrie zeigen die Abbildungen 6.3-6.4. Mittels der zusätzlich in den Abbildungen rot eingefügten vertikalen Achse, soll die Differenz der Halskrümmung zwischen beiden Probandinnen herausgestellt werden. Durch die grauen Ellipsen in den einzelnen Abbildungen wird der davon betroffene Körperbereich verdeutlicht. Analysen zu den Abbildungen 6.3-6.4 sind im darauffolgenden Kontext nach den Abbildungen zu finden.



Abbildung 6.3: Einlegen von Papierbälgen in die **obere** Gießform
(Quelle: eigene Darstellung)

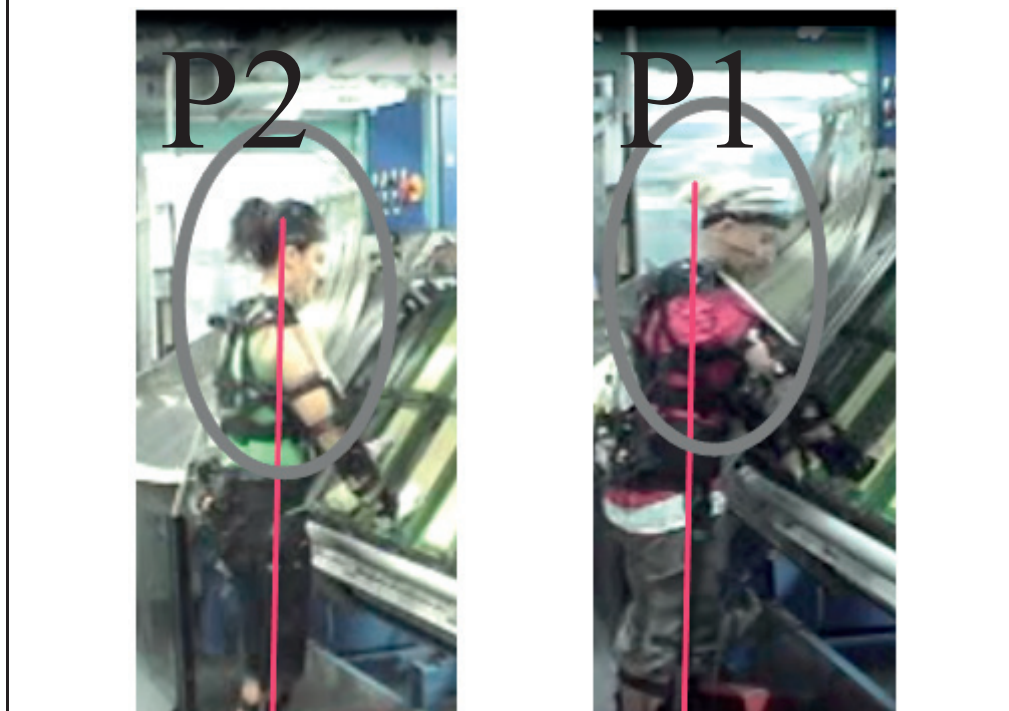


Abbildung 6.4: Einlegen von Papierbälgen in die **untere** Gießform
(Quelle: eigene Darstellung)

Die Wegstrecke zwischen dem Körpermittelpunkt vom Mitarbeiter und Betriebsmittel muss überwunden werden. Da der Greifweg von Probandin 1 (P1) im Vergleich zur Probandin 2 (P2) länger war, musste die Differenz durch eine ungünstige Rumpfeigung (Abbildung 6.3/rechts) ausgeglichen werden.

Um den Idealzustand herstellen zu können, müsste auch die Schwenkeinheit in ihrer Winkelfixierung je nach Proband justierbar sein. Dadurch wäre eine individuelle Einstellung für differenzierte anthropometrische Eigenschaften möglich. Diese Idee ist im Kapitel Handlungsempfehlungen (Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 3) wieder zu finden.

Ähnlich war die Situation beim Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“. Die Videoaufnahmen haben gezeigt, dass der Einfluss durch den Greifraum definiert wird. Die daraus resultierenden Folgen waren, dass die Mitarbeiterin vom 5. Perzentil eine Hals-Extension generierte. Eine weitere Auffälligkeit war die Positionierung der Mitarbeiterinnen zum Arbeitsplatz. Die Probandin vom 95. Perzentil stand mit einem Winkel von $\sim 30^\circ$ zum Montageband, während die Probandin des 5. Perzentils mit 45° - 60° zum Montageband stand.

Um diese unterschiedliche Arbeitsweise zu standardisieren, sollte eine höhenverstellbare Hebebühne mit definierten Markierungen zur richtigen Körperpositionierung in das Anlagenkonzept integriert werden (Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 1).

Auch beim Arbeitsgang „Filterelement verpacken“ wurde ein erhöhter Anteil an „Hals-Krümmungen nach rechts“ registriert. Auch hier ist die Situation ähnlich wie in Abbildung 6.2 und eventuelle Maßnahmen sind in Abhängigkeit zu den EMG-Ergebnissen (Körperkraft) der weiteren Aufzeichnungsparameter zu definieren.

4. Messstelle: Sensor „Halskrümmung nach vorne“:

Eine häufig in ungünstigen Situationen erkennbare **Körperhaltung** war die „Halskrümmung nach vorne“. Diese ist nach ISO 11226 mit 0° - 25° limitiert und konnte während des Arbeitsganges „Papierbalg einlegen“ nur teilweise eingehalten werden. Es wurden $\sim 44\%$ von allen Messwerten als ungünstige Körperhal-

tungen registriert. Ein Blick auf Abbildung 6.4 (obere Gießform / 5. Perzentil) lässt diese Eigenschaft bei Probandin 1 erkennen. Der arithmetische Mittelwert für diese Körperhaltung lag bei $-3,4^\circ$, damit wurde primär eine Halskrümmungsextension erzeugt.

Außerdem war bei Probandin 1 auch eine Grenzwertüberschreitung der Körperhaltung beim Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ erkennbar. Der Durchschnittswert in Bezug auf die Häufigkeit der Körperstellungen betrug $-4,31^\circ$ und bestätigte damit die Darstellung aus den Videoaufnahmen, welche zeigten, dass die Probandin während des Prozesses den Blick in Richtung Produkt richtete.

Der Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ wies für die Messstelle „Halskrümmung nach vorne“ partielle Überschreitungen der Körperhaltung auf, die bei Probandin 2 nicht existierten und auch bei Probandin 1 nur bei einer von zwei Messungen erkennbar waren. Aufgrund der Tatsache, dass der arithmetische Mittelwert erst nach der zweiten Nachkommastelle ($-0,03^\circ$) zu einer ungünstigen Körperhaltung führte, konnte diese Situation als vernachlässigbar abgehandelt werden.

Eine weitere Auffälligkeit bezüglich der „Halskrümmung nach vorne“ war bei Probandin 1 beim Arbeitsgang „Filterelement auflegen“ nachvollziehbar. Hier war eine statistische Häufigkeit während den Messungen von 66 % an ungünstige Körperhaltungen nachweisbar. Die „neutrale Zone“ befand sich nach ISO 11226 zwischen 0° und 25° . Die statistischen Auswertungen zeigten einen arithmetischen Mittelwert von $25,5^\circ$. Ursache für diese Häufigkeit an ungünstigen Situationen war, dass der Mitarbeiterin das Zwischenprodukt (Filterelement ohne Vorvlies) über den „Rücken“ zugeführt wurde. Seit 2006 arbeitet das Unternehmen an Lösungen zur Automatisierung, erste Konzepte existieren seit 2011. In 2014 soll das Anlagenkonzept vollständig vorliegen und im Serienprozess integriert werden. Aufgrund dieser Tatsache liegt mit der Automatisierung eine entsprechende Maßnahme vor, die im Ursache-Wirkungsdiagramm (vgl. Abbildung 9.2) dokumentiert wurde.

Augenfällig war auch der Arbeitsschritt „Filterelement verpacken“ der OES-Variante. Wie bereits zu Beginn des Kapitels erwähnt, führt die gegenwärtige Situation des Arbeitsablaufes auch durch eine „Halskrümmung nach vorne“ zu einer ungünstigen Körperhaltung. Die Häufigkeit der ungünstigen Körperhaltungen betrug $\sim 85\%$, wobei der arithmetische Mittelwert über alle Messreihen bei $-14,0^\circ$ lag. Auf Basis dieser Messergebnisse ist die Verpackungsvariante zu überdenken und durch sinnvolle Maßnahmen (z. B. Hilfsmittel zur Verpackung, Teilautomatisierung, Änderung der Verpackung, ...) zu optimieren.

Für Probandin 2 war ausschließlich der Arbeitsgang „Vorvlies auflegen“ von ungünstigen Körperstellungen betroffen. Der arithmetische Mittelwert neutralisierte zwar mit $+0,34^\circ$ die Situation, dennoch gab es einen Häufigkeitsanteil von $46,66\%$ an Situationen, die einen Wert von $KL \leq 0$ belegten.

Der Unterschied zwischen beiden Probandinnen wurde durch Beurteilung der Videoaufzeichnungen transparent:



Die Situation entstand dadurch, dass Probandin 1 die Arbeitsausführung als stehende Tätigkeit durchführte, Probandin 2 ihrer Tätigkeit jedoch sitzend nachkam, was zu dieser ungünstigen Halskrümmung führte. Als Lösung sollten zukünftig

Stühle mit Kopfstützen zum Einsatz kommen, die eine Halskrümmungsextension unterbinden würden. Auch dieser Punkt wurde als Maßnahme (vgl. Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 6) mit aufgenommen.

5. Messstelle: Sensor „Rumpfneigung nach vorne“:

Für die Messstelle zur **Körperhaltung** der „Rumpfneigung nach vorne“, konnte bei Probandin 2 eine „Rumpfstreckung“ bei zwei Arbeitsvorgängen detektiert werden.

Zum einen war der Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ davon betroffen und zum zweiten handelte es sich um den Arbeitsgang „Filterelement auflegen“.

Die Videoaufnahmen lassen dem Betrachter erkennen, dass die Stuhlhöhe zu hoch eingestellt war und deshalb die Rumpfhaltung von der idealen Körperhaltung abwich. Um dies zukünftig zu vermeiden, sollte für verschiedene Körpergrößen die exakte Stuhlhöhe bestimmt und den Mitarbeiterinnen in Form einer Parameterliste zur Verfügung gestellt werden.

Des Weiteren wurde die Rumpfneigung beim Arbeitsgang „Filterelement auflegen“ in einem ungünstigen Bereich generiert. Da die Probandin das Zwischenprodukt aus ihrem „Rücken“ griff, wurde eine „Rumpfüberstreckung“ erzeugt. Probandin 1 hatte das Zwischenprodukt erst zu einem späteren Zeitpunkt vom Band abgegriffen und dadurch die ungünstige Haltung vermieden. Da die Abnahme des Zwischenproduktes derzeit willkürlich erfolgen kann, sollte der frühestmögliche Abnahmebereich definiert werden. Eine Abdeckung der Produkte würde die Problematik abstellen und wird empfohlen.

6. Messstelle: Sensor „Rumpfseitneigung nach rechts“ bzw. 7. Messstelle Sensor „Rückenkrümmung nach rechts“:

Die Sensoren für die „Rumpfseitneigung nach rechts“ und die „Rückenkrümmung nach rechts“ konnten primär moderate und neutrale **Körperhaltungen** vorweisen. Auf eine weitere Analyse dieser beiden Körperregionen wurde deshalb verzichtet.

8. Messstelle: Sensor „Rückenkrümmung nach vorne“:

Auffälligkeiten zeigten auch die Messergebnisse im Bereich der „Rückenkrümmung nach vorne“. Hier mussten beide Probandinnen ungünstige **Körperhaltungen** beim Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ einnehmen. Die Testperson vom 5. Perzentil hatte eine Rückenextension mit einem arithmetischen Mittelwert von $-2,53^\circ$. Vergleichbare Ergebnisse verzeichnete auch Probandin 2, die ebenfalls von einer Rücken-Extension betroffen war. Um die Situation zu verbessern, ist eine optimale Körperstellung zum Montageband erforderlich, welche gegenläufige Auswirkungen auf andere Körperstellungen (z. B. die Rumpfeigung) hat. Die Empfehlung geht in Richtung Eliminierung des Handarbeitsplatzes in Form einer Automatisierung.

Für Probandin 1 lag die Häufigkeit an ungünstigen Körperhaltungen für den Arbeitsgang „Filterelement verpacken“ bei $\sim 36,5\%$. Auch hier war die Tendenz einer Rücken-Extension erkennbar. Der arithmetische Mittelwert aller Messungen lag bei $-2,62^\circ$.

Um die verschiedenen Körperstellungen nachvollziehen zu können, mussten bei dieser Tätigkeit auch alle „Mitbewegungen“ bewertet werden. Für Probandin 1 (Mitarbeiterin mit der kleineren Körpergröße) war im Vergleich zu Probandin 2 der Hebevorgang der Filterpakete vom Transportband in die Kartonagen mit einem höheren Aufwand verbunden. Bedingt dadurch kam teilweise eine Armhebung im Schultergelenk bis auf Höhe der Schulter zustande. Die Nebentätigkeit „Ziehen des Hubwagens“ bedingt ebenfalls eine Extension im Rückenbereich.

Sinnvoll ist die Neugestaltung des Arbeitsplatzes mit Hilfsmitteln, wie Paletten auf Rollwägen und die Anpassung der existierenden Verpackung.

9. Messstelle: Sensor „Rückentorsion nach rechts“:

Der Messwert für die „Rückentorsion nach rechts“ zeigte bei beiden Mitarbeiterinnen keinerlei Auffälligkeiten hinsichtlich der **Körperhaltungen** auf.

10. Messstelle: Sensor „Ellenbogengelenk-Flexion links“:

Das Ellenbogengelenk wurde auf drei physikalische Größen untersucht. Zum einen wurde die **Stellung des Ellenbogengelenkes** erfasst, zum anderen die **Winkelgeschwindigkeit** und die **Mittenfrequenz**.

Dabei wurden jeweils die linke wie auch die rechte Körperseite des Ellenbogengelenkes betrachtet. Die Messung am linken Ellenbogengelenk konnte folgende Ergebnisse aufzeigen:

Bezüglich der **Winkelgeschwindigkeit** wurde festgestellt, dass mit steigendem Zeitgrad auch die Winkelgeschwindigkeit zunahm. Die Anteile an ungünstigen Geschwindigkeiten (Definition siehe Kapitel 5.2.1) lagen jedoch unterhalb des definierten Häufigkeitswertes von 30 %.

Die **Stellung des Ellenbogengelenkes** war wesentlich bedeutender im Vergleich zur Winkelgeschwindigkeit. Die Probandinnen mussten an nahezu allen Arbeitsvorgängen ungünstige Körperhaltungen einnehmen. So traten beim Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ während des Messzeitraumes bei Probandin 1 ~ 44 % an ungünstigen Körperstellungen auf und der arithmetische Mittelwert lag bei $+31,5^\circ$. Bei Probandin 2 (95. Perzentil) waren ~ 59 % der Messwerte mit ungünstigen Haltungen belegt. Der arithmetische Mittelwert lag bei $51,3^\circ$. Probandin 2 hatte deshalb einen höheren Häufigkeitsanteil an ungünstigen Körperhaltungen im Vergleich zur Probandin 1 zu verzeichnen.

Erzeugt wurden die ungünstigen Situationen bei beiden Probandinnen im $KL \leq 60$. Dieser Winkelbereich ist allerdings bei der Arbeitsausführung des Vorganges „Papierbalg einlegen“ nicht vermeidbar. Im Zuge der durchgeführten Untersuchungen wird damit deutlich, dass eine Automatisierung des Arbeitsprozesses aufgrund der ungünstigen Ellenbogengelenksstellung sinnvoll ist.

Ähnlich war die Situation für den Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“. Beide Probandinnen hatten während der Zeitgradmessung von 132 % einen erhöhten zeitlichen Anteil an ungünstigen Körperhaltungen. Die Probandin des 5. Perzentils hatte zum Beispiel 35,4 % an auffälligen Körperhaltungen in Bezug auf

die Gesamtmesszeit. Der arithmetische Mittelwert der Winkelstellungen lag bei $+88,4^\circ$ und damit 12° unterhalb des oberen Grenzbereiches zur Winkelstellung des Ellenbogengelenkes. Aus statischer Sicht ist die Lage des Mittelpunktes azentrisch angeordnet. Probandin 2 hatte einen Häufigkeitsanteil von 49,2 % an ungünstigen Körperstellungen. Der arithmetische Mittelwert lag im unteren Toleranzfeld, bei einer Winkelstellung von $+60,1^\circ$. Auffällig war der stark differenzierende arithmetische Mittelwert zwischen beiden Probandinnen. Eine weitere Videoanalyse konnte den Unterschied aufzeigen. Die Testperson vom 5. Perzentil entnahm ein geometrisch größeres Filterelement. Dieser Vorgang führte dazu, dass eine Zwangsbeugung am Unterarm entstand. Bei Probandin 2 war erkennbar, dass die Beugung aufgrund des geometrisch kleineren Filterelementes geringer war. Damit hat neben der Anthropometrie auch die geometrische Form des Filterelementes einen erheblichen Einfluss auf die Körperhaltung der Probandinnen.

Um die vorgefundene Situation zu verbessern, sollte eine verstellbare Hebebühne integriert werden. Die Auslegung der optimalen Höhe, stellt eine Grundvoraussetzung dar, um optimale Körperstellungen einnehmen zu können.

Auch die Winkelstellungen während des Beschneideprozesses der Polyurethan-Dichtung wurden analysiert. Beide Testpersonen mussten während der standardisierten Zeitgradmessung (132 %) ungünstige Körperhaltungen von zeitlichen Häufigkeiten mit einem Anteil von 46,3 % bzw. 45,5 % hinnehmen. Der arithmetische Mittelwert für die Winkelstellung des Ellenbogengelenkes lag bei einer Probandin bei $61,8^\circ$ bzw. der zweiten Probandin bei $62,1^\circ$. Es besteht folglich ein Zusammenhang zwischen beiden Probandinnen. Auch die Streuung der Messergebnisse war ähnlich, der Arbeitsgang forderte Winkelstellungen für das Ellenbogengelenk von $\sim 34,5^\circ$ bis $83,1^\circ$ ein. Der ungünstige Bereich befindet sich bei $34,5^\circ$ bis 60° . Es überwiegt deshalb eine Überstreckung des Unterarmes.

Analog zu den vorher genannten Tätigkeiten war auch der Arbeitsgang „Filterelement verpacken“ von ungünstigen Körperhaltungen betroffen. Probandin 1 hatte bei der Verpackungsvariante OES und der Zeitgradmessung von 132 % einen

Häufigkeitsanteil von 71,8 % an ungünstigen Situationen. Die OEM-Verpackung, welche von Probandin 2 verpackt wurde, hatte einen Zeitanteil von ~ 72 % an ungünstigen Körperhaltungen über beide Zeitgradmessungen. In Bezug auf ungünstigen Körperhaltungen lag damit Probandin 2 auf vergleichbarem Niveau, wie Probandin 1.

Ein weiterer Vorgang, der untersucht wurde, war der Arbeitsgang „Vorvlies auflegen“. Die Messergebnisse für Probandin 2 (95. Perzentil) zeigten einen Häufigkeitsanteil von ~ 62 % an ungünstigen Körperhaltungen. Probandin 1 hatte einen Zeitanteil von ~ 6 % an ungünstigen Körperhaltungen zu verzeichnen. Die Testperson vom 95. Perzentil hatte diesen hohen Anteil an ungünstigen Körperhaltungen im KSL4 < 60°. Dies bedeutete eine Extension des Unterarmes. Eine detaillierte Analyse zeigte Abweichungen der Messergebnisse aufgrund einer unterschiedlichen Arbeitsweise beider Probandinnen. Die Videoaufnahmen ermöglichten folgenden Detailblick: Probandin 2 wechselte in regelmäßigen Abständen die Auflegehand und führte den Vorgang im Sitzen aus. Bedingt dadurch tangierte die Probandin den Bereich der ungünstigen Körperhaltungen. Die Probandin vom 5. Perzentil vermied einen Wechsel der Auflegehand und führte den Vorgang ausschließlich im Stehen aus. Dieses Vorgehen begünstigt somit die Reduktion des Anteils an ungünstigen Körperhaltungen und ist als Verbesserungsmaßnahme für diesen Arbeitsgang zu berücksichtigen.

Als dritte physikalische Größe wurde die **Mittenfrequenz** der linken Ellenbogengelenksflexion aufgezeichnet. Beide Probandinnen hatten ähnliche Ergebnisse zu verzeichnen. Kritisch waren die Arbeitsgänge „Papierbalg einlegen“ und „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“. Die Messungen bei Probandin 2 zeigten zudem auch Auffälligkeiten beim Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“.

Die höchsten Frequenzen wurden beim Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ erzielt. Beide Probandinnen hatten für das linke Ellenbogengelenk bei einem Zeitgrad von 132 % einen ähnlichen arithmetischen Mittelwert von 0,66 Hz (P1) bzw. 0,68 Hz (P2) in Bezug auf alle Mediane, die

während der Messungen registriert wurden. Die Grenzüberschreitungen relativ zum Richtwert lagen bei einem Häufigkeitsanteil von 98 % für beide Mitarbeiterinnen. Unabhängig von den Probandinnen sind Verbesserungsmaßnahmen notwendig. Empfohlen wird eine sinnvolle Rotation (siehe Kapitel 9.1), sowie eine Erholungspause beim Rotationswechsel. Diese organisatorische Maßnahme kann zum Beispiel durch den sogenannten Springer am Montageband eingeleitet werden.

Da der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ nur partielle Überschreitungen bei der Zeitgradmessung von 132 % aufzeigte, sollte dieser in sinnvolle Kombination zu anderen Arbeitsgängen gestellt werden.

Bei Probandin 2 war auch der Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ hinsichtlich der Mittenfrequenz von Bedeutung. Hier wurden Frequenzen von bis zu 0,47 Hz gemessen. Die Häufigkeit hinsichtlich überschrittener Grenzwerte lag bei 37 % (Zeitgrad: 100 %) bzw. bei 52 % (Zeitgrad: 132 %). Auch bei diesem Arbeitsgang sollte zwischen jedem Rotationswechsel eine Erholungspause von sechs Minuten gewährt werden.

11. Messstelle: Sensor „Ellenbogengelenk-Flexion rechts“:

Die Messung der **Winkelgeschwindigkeit** zeigte keine erhöhten Häufigkeitsüberschreitungen (< 30 %) bzgl. zu hoher Werte. Augenfällig war ein Anstieg der Winkelgeschwindigkeit bei Erhöhung des Zeitgrades. Erhöhter Output erfordert in der Regel einen erhöhten Anteil an Bewegungen und dies führt unweigerlich zu einem Anstieg der Winkelgeschwindigkeit.

Betrachtet wurden auch die **Körperhaltungen** für die Ellenbogengelenk-Flexion.

Dieser Untersuchungsparameter war von ungünstigen Körperhaltungen geprägt. So hatte zum Beispiel der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ bei beiden Testpersonen mit ~ 60 % bzw. ~ 76 % (Probandin 2) hohe Häufigkeitsanteile an ungünstigen Körperhaltungen. Durch die statistischen Aufzeichnungen waren Differenzen zwischen beiden Körperseiten erkennbar. Am rechten Ellenbogengelenk wurden mehr ungünstige Körperhaltungen registriert als am linken Ellenbogen-

gelenk. Dieser höhere Anteil ist auf den Ausführungsprozess für diesen Arbeitsgang zurückzuführen. Die Maßnahmen sind kongruent zum linken Ellenbogengelenk und können ggf. im Absatz „10. Messstelle: Sensor „Ellenbogengelenk-Flexion links“ nochmals nachgelesen werden.

Vergleichbare Körperhaltungsergebnisse zeigte auch der Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ auf. Die Häufigkeit an ungünstigen Körperhaltungen lag zwischen 50 % und 63 % in Bezug auf die Gesamtmesszeit. Gemessen wurden Winkelstellungen von 50° bis 54°. Als Maßnahme sei auf eine optimale Einstellung der verstellbaren Hebebühne verwiesen, die auch im Kapitel Handlungsempfehlungen (Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 1) wieder zu finden ist.

Eine weitere Analyse erfolgte beim Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“. Probandin 2 nahm keine ungünstigen Körperhaltungen ein. Für Probandin 1 hingegen waren partielle Grenzwertüberschreitungen erkennbar. Bei höchstem Output (Zeitgrad: 132 %) erzielte die Mitarbeiterin vom 5. Perzentil in 34,2 % aller Messungen ungünstige Körperstellungen des Ellenbogengelenkes. Bei verminderter Produktivität (Zeitgrad: 100 %) reduzieren sich die ungünstigen Körperstellungen auf eine Häufigkeit von 18,9 %.

Die Ergebnisse deuten für Probandin 1 einen direkten Zusammenhang zwischen dem Zeitgrad und der Häufigkeit an ungünstigen Körperhaltungen an. Deshalb wurde dieser Zeitgrad auch für Probandin 2 detailliert betrachtet. Diese hatte bei vermindertem Output (Zeitgrad: 100 %) einen Häufigkeitsanteil von 4,2 % an ungünstigen Körperstellungen und bei erhöhter Ausbringung (Zeitgrad: 132 %) einen Anteil an ungünstigen Körperhaltungen von 17,7 % an der Gesamtmesszeit.

Die Betrachtung der Körperhaltungen des Ellenbogengelenkes zeigt unabhängig vom Probanden einen signifikanten Einfluss des Zeitgrades auf die Häufigkeit an ungünstigen Körperhaltungen. Erklären lässt sich dies durch die Körperstellung beim „Nachbearbeiten der Filterelemente am Dichtungsrand“. Dieser Vorgang findet in der Körperhaltung $KL \leq 60$ statt. Mit erhöhtem Output erhöht sich der Häufigkeitsanteil an ungünstigen Körperhaltungen ($KL \leq 60$).

Der Arbeitsgang „Vorvlies auflegen“ konnte nur bei Probandin 2 mit einer Häufigkeit von $\sim 46\%$ an ungünstigen Körperstellungen in Erscheinung treten. Diese Werte lagen in einem Winkelbereich von $\leq 60^\circ$. Vorwiegend ($56,3\%$) lagen in einem Winkelbereich von 60° bis 100° . Dieser stellt den Idealfall dar. Probandin 1 hatte bei gleicher Tätigkeit einen Zeitanteil von $14,9\%$ an ungünstigen Körperhaltungen, die in Bezug auf den Winkel des Ellenbogengelenkes unterhalb von 60° lagen. Hingegen war der Häufigkeitsanteil für ungünstige Körperhaltungen oberhalb des Winkelbereiches von 100° bei $2,2\%$. $82,9\%$ aller Körperhaltungen entsprachen einem optimalen Winkelbereich (zwischen 60° und 100°). Der Blick in die Videoanalyse gab Aufschluss. Probandin 1 führte diese Tätigkeit im Stehen aus, Probandin 2 hingegen im Sitzen. Diese Analyse zeigt, dass die Tätigkeitsausführung stehend zu weniger Körperfehlstellungen (bezogen auf das Ellenbogengelenk) führt als sitzend.

Der Arbeitsgang „Filterelement auflegen“ konnte aufgrund des geringen prozentualen Anteils an ungünstigen Ellenbogengelenkstellungen vernachlässigt werden.

Das „Verpacken der Filterelemente“ war für beide Probandinnen mit erhöhten zeitlichen Anteil an ungünstigen Körperhaltungen verbunden. Die Person des 5. Perzentils hatte $\sim 40\%$ an Grenzwertüberschreitungen zu verzeichnen. Dabei lagen die Werte der Körperstellungen bei $KL \leq 60^\circ$. Die Probandin vom 95. Perzentil hatte bei dieser Tätigkeit weitaus höhere Anteile an ungünstigen Körperhaltungen. Der Häufigkeitsanteil lag bei $\sim 76\%$ und auch dieser befand sich primär im Winkelbereich der Klasse $KL \leq 60^\circ$. Deshalb ist die Arbeitsausführung für Verpackungsarten in Form von Arbeitsplatzgestaltung (Ablagehöhe, Hilfsmittel zur Verpackung, ...) zu verbessern.

Auch die **Mittenfrequenz** wurde für die „Ellenbogengelenk-Flexion rechts“ betrachtet. Grenzwertüberschreitungen waren an den Arbeitsvorgängen „Papierbalg einlegen“, „Filterelement entnehmen“ und „Filterelement auflegen“ zu erkennen. Die Maßnahmen hierzu sind analog zur linken Ellenbogengelenk-Flexion

(stündlicher Rotationswechsel und dazwischen eine Erholungspause von sechs Minuten) anzuwenden.

12. Messstelle: Sensor „Handgelenk-Flexion links“:

An der 12. Messstelle wurde für beide Probandinnen eine erhöhte **Winkelgeschwindigkeit** bei den Arbeitsgängen „Papierbalg einlegen“ (mit einem Häufigkeitsanteil von 36 % bis 48 %) und „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ (Häufigkeitsanteil von 46 % bis 55 %) festgestellt. Eine mögliche Maßnahme zur Reduktion der Winkelgeschwindigkeit ist eine Anpassung der Produktionsfunktion. Eine verringerte Ausbringungsmenge würde allerdings die Produktionskosten negativ beeinflussen. Der Effekt der Reduktion der Ausbringungsmenge (von 132 % auf 100 %) würde dazu führen, dass Probandin 1 nur noch bei zwei Arbeitsgängen die Winkelgeschwindigkeit überschreiten würde (derzeit wird die Winkelgeschwindigkeit bei drei Arbeitsgängen überschritten). Probandin 2 würde sich von vier auf drei Grenzwertüberschreitungen verbessern. Da diese Möglichkeit wirtschaftlich nicht vertretbar ist, sollte die angedachte Automatisierung vorangetrieben werden.

Als weiterer Parameter wurde die **Körperhaltung** für das linke Handgelenk betrachtet. Die dazugehörigen Messwerte waren zu $\frac{2}{3}$ im neutralen Bereich. Der Häufigkeitsanteil an ungünstigen Körperhaltungen lag unter 1 % und das linke Handgelenk war hinsichtlich seiner Stellungen keinen arbeitswissenschaftlichen Gefahren ausgesetzt. Deshalb konnte die Analyse für den nächsten Untersuchungsparameter, der **Mittenfrequenz** fortgesetzt werden. Probandin 1 hatte an zwei von sechs Arbeitsgängen den Grenzwert für mehr als 70 % aller Messungen überschritten. Im Vergleich dazu hatte Probandin 2 an allen Arbeitsgängen Grenzwertüberschreitungen vorzuweisen. Ein Einfluss durch die Probandin war erkennbar. Die Belastungs-/Beanspruchungsgrößen beim Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ waren im arithmetischen Mittel aller Mediane um mehr als das 2,5-fache oberhalb der Toleranzgrenze. Außerdem wurde der Grenzwert in ~ 89 % bzw. ~ 99 % aller Messaufzeichnungen überschritten. Die Produktivität hat einen signifikanten Einfluss auf die Mittenfre-

quenz in Bezug auf das Handgelenk. Um diesen Umstand zu reduzieren, sollte die Rotation der einzelnen Arbeitsplätze überdacht und an sinnvolle Verhältnisse angepasst werden. Kapitel 9.1 macht hierzu einen aus arbeitswissenschaftlicher Sicht sinnvollen Vorschlag.

13. Messstelle: Sensor „Handgelenk-Flexion rechts“:

Die Messergebnisse zur **Winkelgeschwindigkeit** waren vergleichbar mit den Messergebnissen der linken Handgelenksseite. Probandin 1 hatte bei den Arbeitsgängen „Papierbalg einlegen“, „Filterelement entnehmen“ und „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ ausnahmslos hohe (Häufigkeitsanteile zwischen ~ 39 % und 62 %) Winkelgeschwindigkeiten, die oberhalb des Grenzbereiches von 23°/s lagen. Ähnliche Resultate ergaben die Messungen der zweiten Testperson. Diese Ergebnisse sind alarmierend und sollten in Zusammenhang mit den weiteren Aufzeichnungsparameter sensibel betrachtet werden.

Die **Handgelenksstellungen** rechts ergaben vergleichbare Ergebnisse zur linken Körperseite. Es bleibt deshalb festzuhalten, dass die Stellungen der Handgelenke weder links noch rechts als kritisch anzusehen sind. Der Anteil an ungünstigen Stellungen lag unter einem Prozent in Bezug auf die Messzeit und ist deshalb vernachlässigbar.

Neben der Winkelgeschwindigkeit wurde auch die **Mittenfrequenz** analysiert. Die Messergebnisse waren auf vergleichbarem Niveau in Relation zur Betrachtung der linken Handgelenk-Flexion. Direkte Unterschiede zwischen beiden Körperseiten waren nicht erkennbar. Der bereits genannte Rotationsvorschlag würde sich auch positiv auf die rechte Körperseite auswirken. Um die Winkelgeschwindigkeit auf den Grenzwert limitieren zu können, sollte zudem der Aufgabeninhalt bei den Vorgängen „Papierbalg einlegen“, „Filterelement entnehmen“ und „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ reduziert werden.

14. Messstelle: Sensor „Schultergelenk-Adduktion links“:

Als weitere Körperregion wurde die „Schultergelenk-Adduktion links“ betrachtet. Ungünstige **Körperhaltungen** enthielten die Arbeitsgänge „Filterelement verpacken“ und „Vorvlies auflegen“. Probandin 1 hatte von 31,59 % an ungünstigen Situation 31,34 % im Bereich $KL \geq 0$. Dies bedeutet, das Schultergelenk lag am Körperzentrum an. Der arithmetische Mittelwert betrug $-1,83^\circ$ und entsprach einer neutralen Stellung.

Ähnlich war die Situation bei Probandin 2. Die Häufigkeit von ungünstigen Körperhaltungen lag bei 43,25 %. Diese wurden im Bereich $KL \geq 0$ generiert. Der arithmetische Mittelwert lag bei der Zeitgradmessung von 132 % bei $-12,82^\circ$.

Probandin 1 führte diesen Arbeitsgang im Stehen aus, was sich positiv auf den Anteil an ungünstigen Schultergelenk-Stellungen auswirkte.



Deshalb sollte der Arbeitsgang „Vorvlies auflegen“ in stehender Tätigkeit ausgeführt werden.

15. Messstelle: Sensor „Schultergelenk-Adduktion rechts“:

Parallel zur linken Körperhälfte wurde auch das rechte Schultergelenk analysiert. Probandin 2 hatte rechts keine ungünstigen **Körperhaltungen** zu verzeichnen. Probandin 1 hingegen hatte temporäre Überschreitungen, die je nach Arbeits-

gang und Zeitgrad variierten. Der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ wurde beispielsweise in einer ungünstigen Körperhaltung ausgeführt. Das Video zeigt, dass Probandin 1 das Zwischenprodukt zu früh in die Gießform einsetzte und dadurch ergonomisch ungünstig zur Bandanlage stand. Probandin 2 hingegen setzte das Zwischenprodukt erst in die zweite Gießformenreihe ein und stand dadurch im rechten Winkel zur Bandanlage. Eine daraus resultierende Maßnahme wäre das Verhindern eines frühzeitigen Einsetzens der Papierbälge in die erste Gießformenreihe (vgl. Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 2).

Bei der Bewertung des Arbeitsganges „Vorvlies auflegen“, war erkennbar, dass Probandin 1 mit dem rechten Handgelenk vom Stapel der linken Hand abgriff. Dabei wurde das Handgelenk zum Körpermittelpunkt gedreht und eine ungünstige Haltung erzeugt. Probandin 2, die bei dieser Arbeitsausführung keine ungünstigen Haltungen generierte, führte die Tätigkeit über eine Handgelenkbewegung aus. Die Schulter wurde während dem Vorgang kaum bewegt, zudem wurde die Tätigkeit sitzend ausgeführt. Um das Schultergelenk zu entlasten, ist es deshalb sinnvoll, diesen Arbeitsgang sitzend auszuführen.

Auch beim Arbeitsvorgang „Filterelement entnehmen“ waren Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich der Körperhaltung aus den statistischen Datenreihen ersichtlich. Zum Beispiel hatte die Mitarbeiterin vom 5. Perzentil ungünstige Haltungen bei $KL > 0$. Bei genauer Videoanalyse zeigte sich eine Bewegung des Schultergelenks in Richtung der Körpermitte während des Entformprozesses. Die Mitarbeiterin des 95. Perzentils vermied diese Situation, indem sie im 45°-Winkel zum Montageband stand.

Es wird empfohlen, den Arbeitsplatz zu kennzeichnen (Querlinien am Boden) und eine verstellbare Hebebühne in den Prozess zu implementieren. Mittelfristig ist die Automatisierung des Arbeitsplatzes geplant im als arbeitswissenschaftlich sinnvollste Lösung anzusehen.

Eine erste Betrachtung lässt eine Beeinflussung des Probanden auf die Kenngröße vermuten. Allerdings wird bei genauerer Analyse erkennbar, dass der Einfluss durch die Art der Arbeitsausführung entsteht. Dies bestätigt die Notwendig-

keit von Videoaufnahmen parallel zu den Arbeitsplatzmessungen. Eine ausschließliche Bewertung aufgrund der Zahlenreihen kann zu Fehlinterpretationen führen.

16. Messstelle: Sensor „Schultergelenk-Flexion links“:

Zusätzlich zur Adduktion des Schultergelenkes wurde auch die Flexion untersucht. Die Analyse der linken Körperhälfte ergab für Probandin 1 kaum kritische **Körperhaltungen**. Ausschließlich der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ war für Probandin 2 mit einem Zeitanteil von 45 % an ungünstigen Körperhaltungen auffällig. Bei Probandin 2 wurde diese ungünstige Situation primär durch $KL \leq 0$ erzeugt. Dies bedeutete, eine Rückbewegung der Schultergelenke aus der Senkrechten. Generiert wurde diese ungünstige Körperhaltung durch das Aufnehmen der Papierbälge. Die Probandin bewegte ihr linkes Schultergelenk nach hinten. Probandin 1 vermied eine Schulter-Anteversion vom linken Schultergelenk und griff in Richtung Papierbalg. Dadurch konnte diese ungünstige Situation, wie sie bei Probandin 2 existierte, vermieden werden. Zu verbessern wäre diese Körperhaltung durch einen optimalen Greifweg. Dieser ist wiederum an die Körpergröße des Mitarbeiters gebunden. Bei Mitarbeitern mit deutlich unterschiedlichen Perzentilen ist diese Gegebenheit nicht vollständig vermeidbar. Zielführend wäre das bereits erwähnte Automatisierungsprojekt umzusetzen.

17. Messstelle: Sensor „Schultergelenk-Flexion rechts“:

Die Beugung des rechten Schultergelenkes war vergleichbar mit den Ergebnissen der linken Körperseite. Die kleinere Mitarbeiterin hatte beim Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ einen Häufigkeitsanteil von 32,8 % an ungünstigen **Körperhaltungen**. Kritisch war $KL \leq 0$, welcher bedeutete, dass die Mitarbeiterin eine „Rückholbewegung“ ausführte. Eine Videoanalyse bestätigte diese Körperbewegung, die beim Ausführen von Reinigungsarbeiten entstand. Diese Tätigkeit wird unsystematisch ausgeführt, je nach Qualität der Gießformenbeschichtung. Um den Anteil dieser Körperstellung zu reduzieren, sollte die neue Anlagentechnik der Trennmittelsprüheinrichtung so ausgeführt werden, dass ein Eintrennen der vollständigen Gießform (auch im Außenbereich) möglich wäre. Dadurch

würde diese Tätigkeit für den Mitarbeiter entfallen. Das dazugehörige Anlagenkonzept existiert und soll in 2014/2015 realisiert werden. Für die Mitarbeiterin vom 95. Perzentil war der Arbeitsgang „Filterelement auflegen“ mit einem Zeitanteil von ~ 43 % an ungünstigen Körperhaltungen während der Arbeitsplatzmessungen von Bedeutung. Das Video verdeutlicht die Ursache für die Grenzwertüberschreitung:

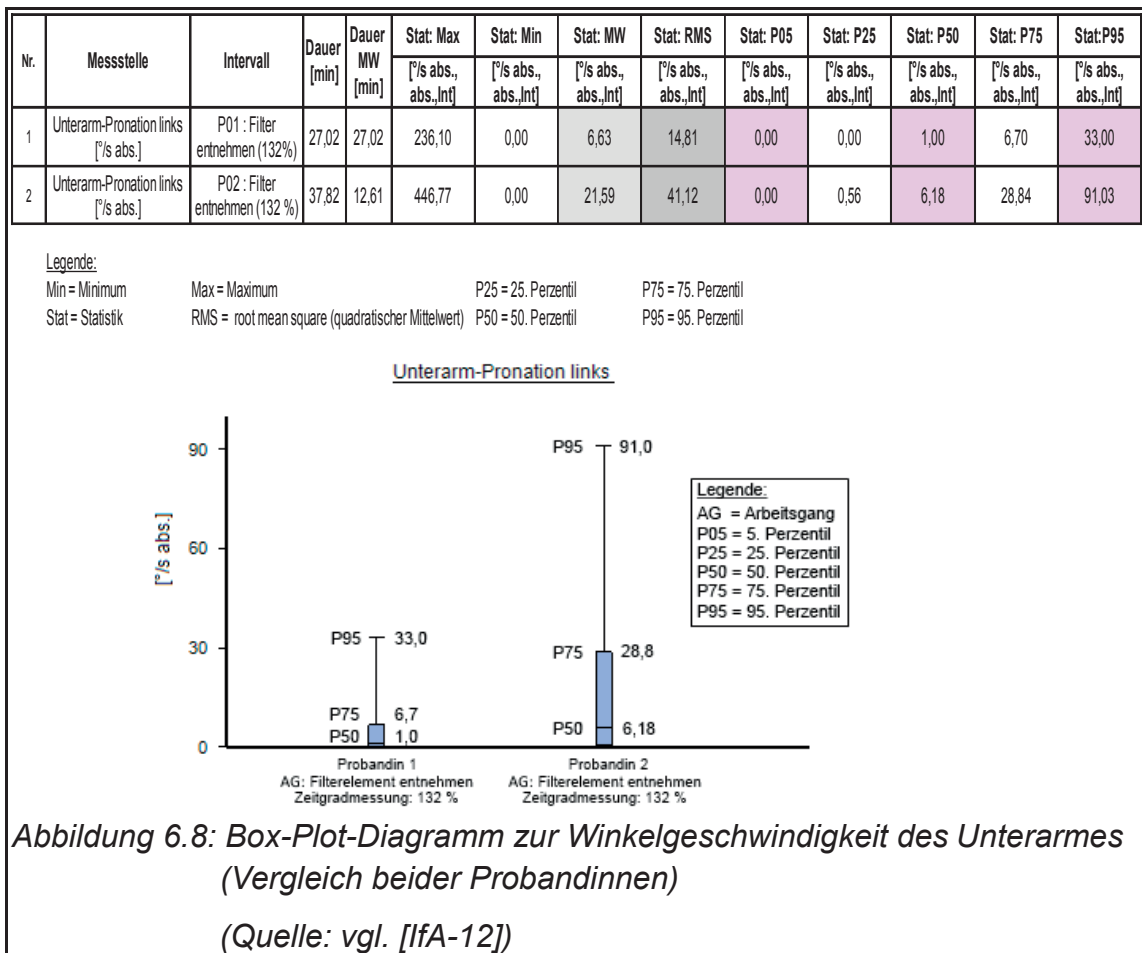


Abbildung 6.7 lässt die Körperdrehung (grauer Pfeil in der Abbildung) nach rechts erkennen. Dadurch generiert Probandin 2 diese ungünstige Körperhaltung. Im Vergleich dazu lässt sich auf dem rechten Bild erkennen, dass Probandin 1 (P1) das Produkt erst ab dem Körpermittelpunkt griff. Eine wirksame Maßnahme zur Vermeidung dieser negativen Situation wäre das Abdecken des Bereiches auf dem Förderband. Dadurch wäre ein frühzeitiges Abgreifen der Produkte unmöglich (vgl. Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 5).

18. Messstelle: Sensor „Unterarm-Pronation links“:

Mit der 18. Messstelle wurde die Körperregion des Unterarmes untersucht. Im speziellen die Unterarm-Pronation, eine Einwärtsdrehung des Unterarmes. Eine typische Bewegung, die bei Montagetätigkeiten vorzufinden ist. Hierbei war die Winkelgeschwindigkeit wie auch die Position der Körperstellung dem Umfang der Messungen enthalten.

Der Unterarm war beim Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ sehr hohen **Winkelgeschwindigkeiten** ausgesetzt. Beide Mitarbeiterinnen hatten Überschreitungen, die einen prozentualen Anteil von ~ 42 % bzw. ~ 69 % bezogen auf die Gesamtmesszeit für sich beanspruchten. Die bereits vorgeschlagene Rotation sollte unbedingt berücksichtigt werden, da diese zu einer homogenen Verteilung der ungünstigen Winkelgeschwindigkeiten in Bezug auf die Gesamtzeit führen würde. Probandin 2 hatte tendenziell einen höheren Anteil an zu hohen Winkelgeschwindigkeiten im Vergleich zu Probandin 1. Er-sichtlich wird dies aus Abbildung 6.8. Hierbei handelt es sich um einen statischen Auszug, der den Unterschied der Probandinnen in Form eines Box-Plot-Diagrammes verdeutlicht:



Ein Blick in die Videoaufzeichnung konnte den Sachverhalt aufklären. Probandin 2 hatte Filterelemente mit geometrisch kleinerem Format zu entnehmen. Bedingt durch die unterschiedlichen Filterdimensionen waren pro Arbeitsvorgang

vier Filterelemente platziert. Probandin 1 hingegen hatte zwei Filterelemente pro Arbeitsvorgang zu entnehmen. Dies bestätigt nochmals den Einfluss der Produktivität auf die Winkelgeschwindigkeit bzw. die Frequenz während der Arbeitsausführung.

Im nächsten Abschnitt wurden die Positionen der Unterarmstellungen untersucht. Probandin 1 hatte durchgängig **Körperhaltungen** in neutralen Bereichen. Probandin 2 konnte dieses Ergebnis nicht bestätigen. So wurden zum Beispiel ~ 62,7 % an ungünstigen Körperhaltungen während des Messzeitraumes zum Vorgang „Papierbalg einlegen“ registriert.

Ein Blick auf die statischen Zahlen lässt erkennen, dass der Hauptanteil für Probandin 1 (P1) bei $KL \geq 40$ entstand.

Nr. Messtelle	Intervall		KL: <=-55	KL: -55<>-30	KL: -30<>20	KL: 20<>40	KL: >=40	KLB: Neutral	KLB: Moderat	KLB: Ungünstig
			[°,%,Int]	[°,%,Int]	[°,%,Int]	[°,%,Int]	[°,%,Int]	[°,%,Int]	[°,%,Int]	[°,%,Int]
1	Unterarm links [°]	P1: Messdaten Papierbalg einlegen / Zeitgrad: 132 %			92,93	7,00	0,07	92,93	7,00	0,07
2	Unterarm links [°]	P2: Messdaten Papierbalg einlegen / Zeitgrad: 132 %			22,40	14,91	62,69	22,40	14,91	62,69

Tabelle 6.1: Statistischer Auszug zum linken Unterarm (Arbeitsgang "Papierbalg einlegen" bei einem Zeitgrad von 132 %)
(Quelle: vgl. [IfA-12])

Diese tabellarische Darstellung (Tabelle 6.1) der statistischen Datenreihen enthält diverse Informationen. So sind zum Beispiel differenzierte Klassen, nach Winkelstellungen (z. B. $KL: -30 <> 20$ für Körperhaltungen unterhalb von -30° bzw. oberhalb von 20°) / vgl. Tabelle 5.2) aufgeführt. Parallel zur Klasseneinteilung erfolgte eine Häufigkeitsbewertung nach neutraler, moderater bzw. ungünstigen Körperhaltungen (KLB:Neutral, KLB:Moderat bzw. KLB:Ungünstig).

In diesen Fall waren die Messergebnisse folgendermaßen zu interpretieren:

Die Handflächen zeigten für Probandin 2 in ~ 63 % aller Messerwerte in Richtung Bodenuntergrund, da $KL \geq 40$. Dieser Umstand resultierte aus der Einsetzbewegung des Papierbalges in die Gießform. Für diese Mitarbeiterin war die verstellbare Hebebühne in Bezug auf den Unterarm falsch justiert. Um diese Situation zukünftig zu vermeiden, sollte eine Parameterliste mit den optimalen Körper-

stellungen hinsichtlich Körpergrößen in Korrelation zur Tiefenverstellung der verstellbaren Hebebühne erstellt und genutzt werden (vgl. Tabelle 9.2/Lfd-Nr. 1). Für Probandin 1 war der Unterarm in Bezug auf den Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ mit 0,07 % an ungünstigen Körperhaltungen als unkritisch anzusehen.

Der Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ wurde bei der Zeitgradmessung von 132 % mit einem Anteil von ~ 40 % an der Gesamtzeit überschritten. Auch bei diesem Arbeitsgang war die ungünstige Haltung zu 100 % bei $KL \geq 40$ zu erkennen. Die Entnahme des Filterelementes erfolgte ebenfalls mit einer nach unten geneigten Handinnenfläche. Die Videoaufnahmen zeigten, dass diese Körperhaltung durch eine Streck- und Drehbewegung am Unterarm bei Probandin 1 entstand. Diese Bewegungen waren zentrisch angeordnet. Mit einer optimierten Stellung zum Arbeitsplatz könnte der Anteil an ungünstigen Körperstellungen noch weiter reduziert werden. Die Maßnahmen dazu (verstellbare Hebebühne und optimale Stellung zum Band) wurden bereits im Ursache-Wirkungsdiagramm mit aufgenommen. Zur vollständigen Eliminierung von ungünstigen Körperhaltungen ist die geplante Automatisierung zu berücksichtigen.

Auch der Arbeitsgang „Filterelement auflegen“ hatte bei Probandin 2 vergleichbare Werte (~ 58 % aller aufgezeichneten Messwerte hatten ungünstige Körperhaltungen) beim Vorgang „Papierbalg einlegen“. Hier war $KL \geq 40$ mit einem Anteil von 100 % an ungünstigen Körperhaltungen betroffen.

Da sich die Bewegung bedingt durch den Prozess nicht vermeiden lässt, ist die Haltung als diese anzunehmen. Mittelfristig sollte das Automatisierungskonzept umgesetzt werden (vgl. Abbildung 9.2).

19. Messstelle: Sensor „Unterarm-Pronation rechts“:

Bei den Messungen für die **Winkelgeschwindigkeit** konnte der Fokus auf Probandin 2 gelegt werden, da sich Probandin 1 in ihren Bewegungsgeschwindigkeiten unterhalb der Grenzwerte befand. Probandin 2 hat hierbei Grenzwertüberschreitungen bei den Arbeitsgängen „Papierbalg einlegen“, „Filterelement entnehmen“, „Filterelement auflegen“ und „Filterelement verpacken“. Gemäß

HANSSON et al. (vgl. Seite 77) liegt der Grenzwert bei $23^\circ/\text{s}$. Im arithmetischen Mittelwert aller Mediane wurden für die Probandin des 95. Perzentils Werte von $9,9^\circ/\text{s}$ bis $20,9^\circ/\text{s}$ erfasst. Die Arbeitsgänge „Filterelement entnehmen“ ($\bar{x} = 9,9^\circ/\text{s}$) und „Filterelement auflegen“ ($\bar{x} = 10,2^\circ/\text{s}$) waren aufgrund ihrer niedrigen Mittelwerte nur bedingt aussagefähig, zumal beim Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ nur die Zeitgradmessung mit 132 % Grenzwertüberschreitungen registriert wurde. Beim Vorgang „Filterelement verpacken“ lag der arithmetische Mittelwert aller Mediane bei $14,1^\circ/\text{s}$. Dieser Arbeitsvorgang sollte gezielt mittels Arbeitsplatzgestaltung in seinen Arbeitsinhalten reduziert bzw. Tätigkeiten subsumiert werden. Die höchste Winkelgeschwindigkeit für Probandin 2 in Bezug auf den rechten Unterarm wurde beim Vorgang „Papierbalg einlegen“ ($\bar{x} = 20,9^\circ/\text{s}$) erzielt. Dieser Höchstwert wurde in $\sim 40\%$ aller Mediane erzielt. Um diesen Umstand verbessern zu können, sei wiederum auf die strikte Trennung der geschwindigkeitskritischen Arbeitsplätze hingewiesen (vgl. Tabelle 9.1).

Die **Körperhaltungen** des rechten Unterarmes hatten für beide Mitarbeiterinnen primär neutrale Körperhaltungen vorzuweisen. Ausnahme war der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“. Hierbei wurden bei Probandin 2 $\sim 70\%$ an Überschreitungen des $KL \geq 40$ vorgefunden. Der arithmetische Mittelwert lag bei $+46,8^\circ$. Dies bedeutete in $\sim 50\%$ aller Belastungssituationen eine Neigung der Handinnenflächen in Richtung Bodenuntergrund. Die Maßnahme aus der Winkelgeschwindigkeit korreliert mit den Ergebnissen der Körperhaltung und ist somit konsistent.

20. Messstelle: Sensor für den Greifraum links bzw. 21. Messstelle Sensor für den rechten Greifraum:

Die Messungen der Sensoren für die **Körperhaltungen** der linken und rechten Körperseite und waren durchgängig im neutralen Bereich. Beide Probandinnen konnten keine außergewöhnlichen Körperstellungen aufweisen. Daraus lässt sich das Fazit zum Greifraum ableiten, dass dieser weitestgehend den ergonomisch günstigen Situationen entspricht.

22./23. Messstelle: Sensor für die „Schultergelenk-Anteversion“ links/rechts:

Die Messwerte zeigten bei beiden Probandinnen günstige und vergleichbare **Winkelmessungen** auf. Erhöhte Werte durch den Anstieg des Zeitgrades konnten nicht nachgewiesen werden.

6.1.2 Zusammenfassung

Die Vermeidung von zeitlich hohen prozentualen Anteilen an ungünstigen Körperhaltungen war für die untersuchten Akkordarbeitsplätze in bestimmten Körperregionen (Ellenbogengelenk und Handgelenk) nicht vermeidbar. Die Gegebenheiten (Anlagentechnik und Arbeitsvorgang) lassen keine alternativen Bewegungsabläufe zu.

Ein großer Anteil von ungünstigen Körperhaltungen kann aber mit geringem Aufwand an technischen bzw. organisatorischen Maßnahmen vermindert werden und trägt signifikant zur physiologischen Belastungsreduktion an den verschiedenen Akkordarbeitsplätzen bei. Zur Umsetzung der möglichen Maßnahmen ist das Ursache-Wirkungsdiagramm (Abbildung 9.2) als Hilfestellung zu nutzen.

Besteht der Anspruch zur vollständigen Eliminierung aller ungünstigen Körperhaltungen, so sollte eine Automatisierung der betroffenen Akkordarbeitsplätze (im Wesentlichen handelt es sich um die Arbeitsplätze „Papierbalg einlegen“, „Filterelement entnehmen“, „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“) in Betracht gezogen werden.

In Bezug auf den Parameter Winkelgeschwindigkeit konnte festgestellt werden, dass kritische Arbeitsgänge (z. B. „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ oder „Papierbalg einlegen“) unbedingt voneinander zu trennen sind. Durch diese Maßnahme könnten Grenzwertüberschreitungen mit bedenkenlosen Arbeitsgängen kombiniert werden. Gleichzeitig würde das Gesamtergebnis aller Akkordarbeitsplätze homogenisiert werden. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Maßnahme keine Minderung der Grenzwertüberschreitungen bewirkt. Diese sind ausschließlich durch eine Reduktion des Zeitgrades zu erreichen. Da-

bei ist allerdings zu beachten, dass die Reduktion nicht proportional zum Zeitgrad ist. Inwiefern die Umsetzung aus ökonomischen Gründen vertretbar ist, muss das Management im Unternehmen beurteilen.

Abschließend soll die folgende Tabelle einen Überblick der empfohlenen Maßnahmen in Bezug auf die jeweilige Körperregion bzw. den Sensor geben:

Messstelle	Arbeitsplatz	Verbesserungspotential
S1 = <u>Kopfneigung nach vorne</u>	Filterelement verpacken	Kundenverpackung optimieren
S2 = <u>Kopfseitneigung nach rechts</u>	-	-
S3 = <u>Halskrümmung nach rechts</u>	Papierbalg einlegen Filterelement entnehmen Filterelement entnehmen	Winkelverstellung verstellbare Hebebühne Bodenmarkierungen
S4 = <u>Halskrümmung nach vorne</u>	Vorvlies auflegen Filterelement verpacken Vorvlies auflegen	Stühle mit Kopfstützen Kundenverpackung diskutieren Vorgang automatisieren
S5 = <u>Rumpfneigung nach vorne</u>	Filterelement beschneiden Filterelement auflegen Filterelement auflegen	Höhenvorgabe für Stuhlhöhen „Tunnelung“ Produkte Höhenvorgabe für Stuhlhöhen
S6 = <u>Rumpfseitneigung nach rechts</u>	-	-
S7 = <u>Rückenkrümmung nach rechts</u>	-	-
S8 = <u>Rückenkrümmung nach vorne</u>	Papierbalg einlegen Filterelement verpacken	Vorgang automatisieren Neugestaltung „Verpackungsplatz“
S9 = <u>Rückentorsion nach rechts</u>	-	-
S10 = <u>Ellenbogengelenk-Flexion links</u>	Filterelement entnehmen Vorvlies auflegen Papierbalg einlegen	verstellbare Hebebühne Auflegehand wechseln Rotation/Pause neu organisieren
S11 = <u>Ellenbogengelenk-Flexion rechts</u>	Filterelement entnehmen Vorvlies auflegen	verstellbare Hebebühne Tätigkeit stehend ausführen
S12 = <u>Handgelenk-Flexion links</u>	Papierbalg einlegen	Rotation/Pause neu organisieren
S13 = <u>Handgelenk-Flexion rechts</u>	Papierbalg einlegen Papierbalg einlegen Filterelement beschneiden Filterelement entnehmen	Rotation/Pause neu organisieren Aufgabeneinhalt reduzieren Aufgabeneinhalt reduzieren Aufgabeneinhalt reduzieren
S14 = <u>Schultergelenk-Adduktion links</u>	Vorvlies auflegen	Tätigkeit stehend ausführen
S15 = <u>Schultergelenk-Adduktion rechts</u>	Filterelement entnehmen Papierbalg einlegen	Bodenmarkierungen Abdeckung anbringen
S16 = <u>Schultergelenk-Flexion links</u>	Papierbalg einlegen	Vorgang automatisieren
S17 = <u>Schultergelenk-Flexion rechts</u>	Filterelement entnehmen Vorvlies auflegen	Eintrennen der vollständigen Gießform „Tunnelung“ Produkte
S18 = <u>Unterarm-Pronation links</u>	Papierbalg einlegen Filterelement beschneiden Filterelement entnehmen Filterelement entnehmen	Parameterliste für Höhenverstellung Rotation/Pause neu organisieren verstellbare Hebebühne Vorgang automatisieren
S19 = <u>Unterarm-Pronation rechts</u>	Papierbalg einlegen Filterelement verpacken	Rotation/Pause neu organisieren Rotation/Pause neu organisieren
S20 = <u>Greifraum links</u>	-	-
S21 = <u>Greifraum rechts</u>	-	-
S22 = <u>Schultergelenk-Anteversion links</u>	-	-
S23 = <u>Schultergelenk-Anteversion rechts</u>	-	-

Tabelle 6.2: Zusammenfassung der Maßnahmen aus den einzelnen Messstellen.

(Quelle: eigene Darstellung)

6.1.3 Elektromyografische Kraftanalyse

Die CUELA-Messungen wurden, wie bereits erwähnt, um Elektromyografiemessungen ergänzt.

Welche Möglichkeiten diese zusätzlichen Informationen bieten, wurde in Kapitel 5.2.1 grundlegend aufgezeigt. Die daraus resultierenden Ergebnisse stellt dieses Kapitel vor.

Da es sich um manuelle Montagetätigkeiten handelt, wurden folgende Körperregionen für die EMG-Messung definiert:

- **Unterarm (Antebrachium)**
- **Kapuzenmuskel (Musculus Trapezius)**

Beide Körperregionen (Unterarm/Kapuzenmuskel) wurden in separate Unterkapitel (6.1.3.1 bzw. 6.1.3.2) gegliedert. Zur systematischen Analyse wurde eine DoE-Software (MODDE 9.1.1) zur Hilfe genommen.

Um den Diagrammen in diesem Kapitel mehr Transparenz verleihen zu können, wurde der Grenzwert für isometrische Kräfte im jeweiligen Diagramm eingetragen. Dieser befindet sich bei einer statischen Muskelkontraktion von 15 % der Maximalkraft. Bis zu diesem Grenzwert bleibt die Durchblutung des Muskels unverändert. Bei Überschreitung dieses Maximums steigt der Muskelinnendruck, die Kapillaren werden komprimiert und der Durchblutungsparameter wird gesenkt. Bedingt dadurch erhalten die Muskelfibrillen nicht mehr ausreichend Sauerstoff, um aerobe Arbeit verrichten zu können. Eine frühzeitige Ermüdung ist die Folge. Deshalb stellt dieser Grenzwert die Dauerleistungsgrenze dar [HOL-09], S. 60. Dieser Grenzwert ist in den Diagrammen der Abbildungen 6.9-6.19 durch eine rote Grenzlinie gekennzeichnet.

Der Aufbau der Abbildungen 6.9-6.19 wurde so konzipiert, dass jede Auswertung aus zwei Diagrammen besteht. In der linken Hälfte wurde das adjustierte EMG Ergebnis aufgetragen. Im rechten Diagramm ist die adjustierte Kraft (unter Berücksichtigung der Maximalkraft) dargestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Modelle unter bestimmten Bedingungen erstellt und auf Basis dieser Eigen-

schaften interpretierbar sind. Hierbei handelt es sich um folgende Modelleigenschaften:

- **N = Anzahl der Versuche**
- **DF = Freiheitsgrade des Versuchsmodells**
- **R^2 = Bestimmtheitsmaß**
- **Q^2 = PRESS-Maß (Vorhersage)**
- **RSD = Prozentuale relative Standardabweichung**
- **Conf. lev. = Konfidenzintervall**

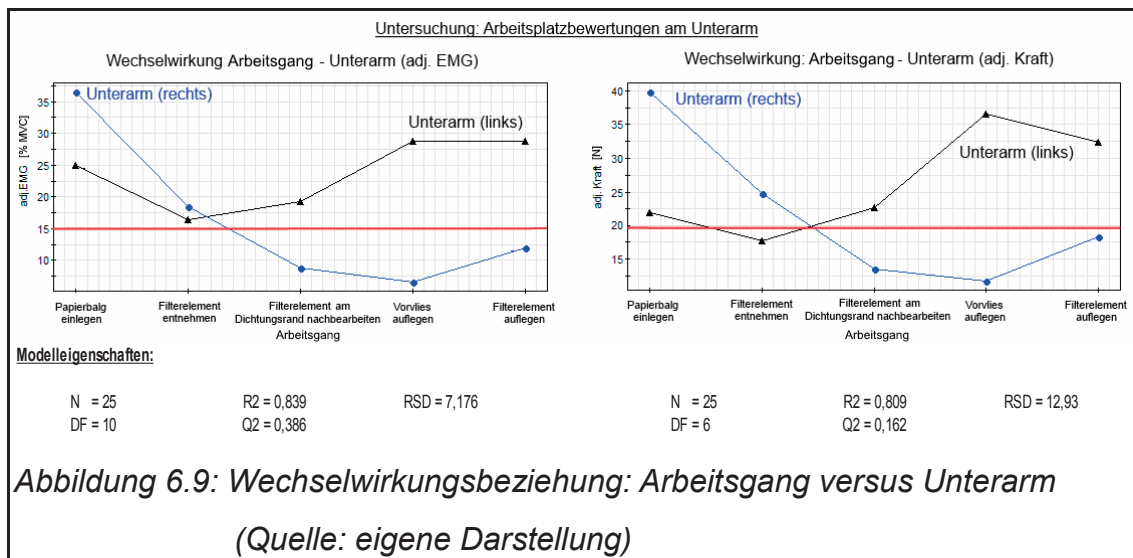
Die Anzahl der Versuche, wie auch die Anzahl der Freiheitsgrade orientierte sich dabei am ausgewählten Versuchsmodell (siehe Kapitel 5.1). Das Bestimmtheitsmaß sollte für ein Modell mit einer hohen Anpassungsgüte bei $0,9 > R^2 \geq 0,7$ liegen [CON-97], S. 96. Für eine hohe Vorhersagegenauigkeit ist ein PRESS-Maß (Q^2) von $> 0,4$ und der Hälfte des Bestimmtheitsmaßes von Wichtigkeit [ORT-06], S. 9. Das Konfidenzintervall gibt eine statistische Abschätzung der Lage eines Parameter an [AUB-09], S. 321. Vertiefende Informationen hierzu bietet Literatur von AUBECK [AUB-09].

Unterhalb der jeweiligen Abbildung sind diese Modelleigenschaften dokumentiert und nachvollziehbar.

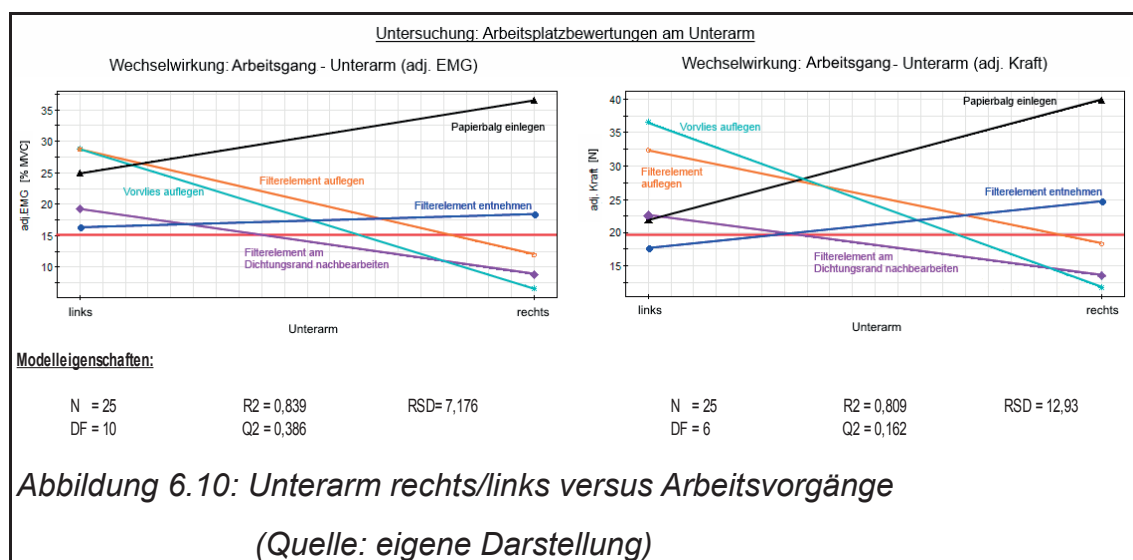
6.1.3.1 Unterarm (Antebrachium)

Am Unterarm wurde die Unterarm-Pronation betrachtet. Eine typische Bewegung, die während der Arbeitsausführung bei Montagetätigkeiten stattfindet.

Anhand der ersten statistischen Auswertung (Abbildung 6.9) ist die differenzierte Beanspruchung des linken und rechten Unterarmes zu erkennen.



Auffällig waren die Arbeitsgänge „Papierbalg einlegen“, „Vorvlies auflegen“ und „Filterelement auflegen“. In zwei Situationen wurde der linke Unterarm stärker beansprucht als der rechte Unterarm. Um diese Asymmetrie ausgleichen zu können, sollte für den Arbeitsgang „Vorvlies auflegen“ ein regelmäßiger Wechsel der „Auflegehand“ eingeführt werden. Für den Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ wäre ebenfalls eine Ablaufänderung sinnvoll. Der Papierbalg wird in den meisten Situationen mit der rechten Hand positioniert. Es ist denkbar, eine Links-Rechts-Variation einzuführen (linke Form → linke Hand, rechte Form → rechte Hand). Dadurch würde sich die Gesamtbeanspruchung auf beide Unterarme verteilen.



Eine weitere Analyse (Abbildung 6.10) hat ergeben, dass mit Ausnahme der Arbeitsvorgänge „Filterelement entnehmen“ und „Papierbalg einlegen“ immer der linke Unterarm stärker beansprucht war als der rechte Unterarm. Kraftüberschreitungen von über 20 N kamen bei folgenden Abläufen vor:

- **Papierbalg einlegen (rechter Unterarm)** ~ 40 N
- **Vorvlies auflegen (linker Unterarm)** ~ 37 N
- **Filterelement auflegen (linker Unterarm)** ~ 33 N

Die Bewertung erfolgte mit Hilfe der Videoaufzeichnungen. Diese lässt erkennen, dass Probandin 2 bei mehreren Tätigkeiten (z. B. „Vorvlies auflegen“, „Papierbalg einlegen“) einen Handwechsel vorgenommen hat. Dadurch war unterschiedliche Beanspruchungsverteilung zwischen beiden Körperseiten und Probandinnen nachvollziehbar.

Die Hypothese, dass der Zeitgrad einen signifikanten Einfluss auf die physiologische Beanspruchung ausübt, konnte für die Kraft des Unterarmes bestätigt werden. Unabhängig vom Arbeitsgang bzw. von der Probandin ist ein Anstieg zu erkennen. Am stärksten war dieser Effekt beim Vorgang „Filterelement auflegen“ erkennbar. Die adjustierte Kraft stieg von ~ 17 N auf ~ 33 N (bei einem Zeitgrad 132 %) an.

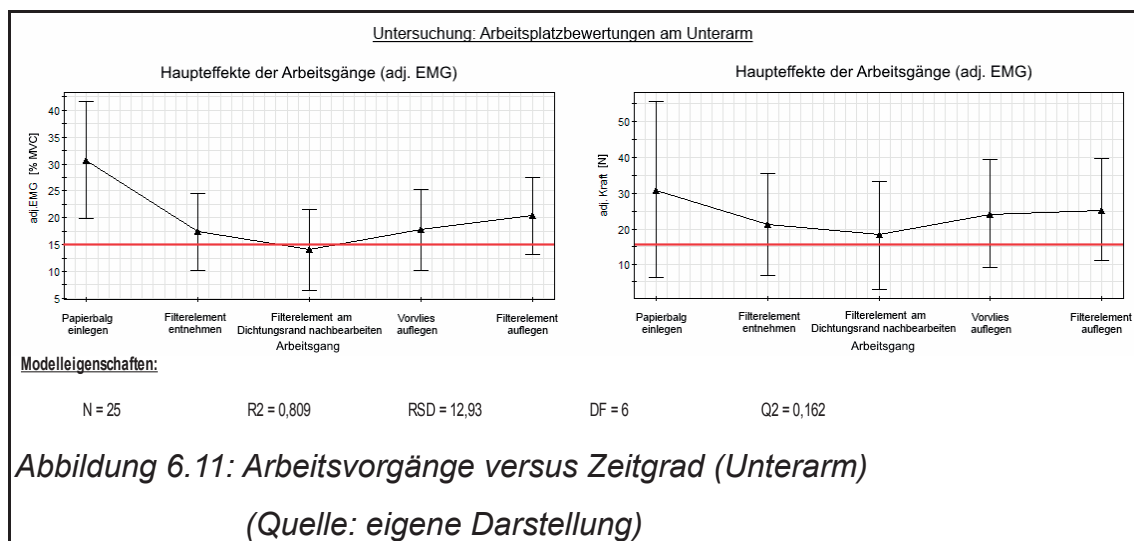
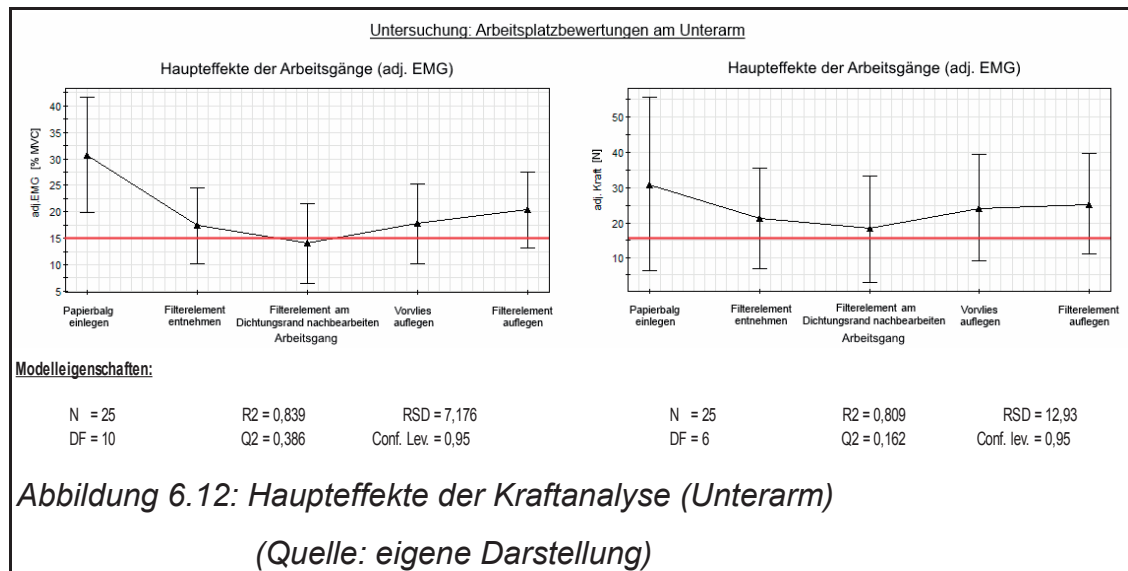
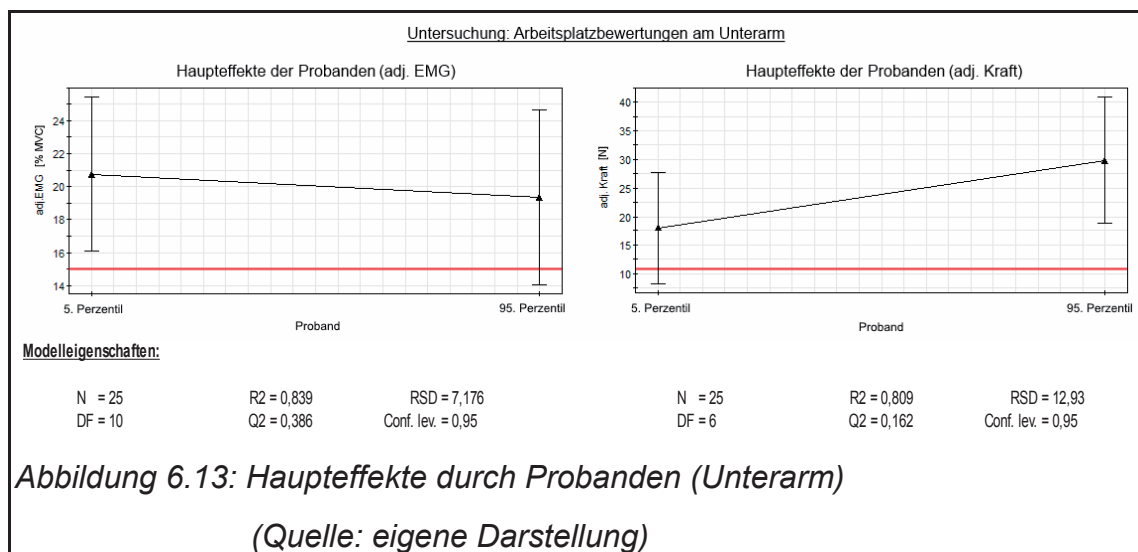


Abbildung 6.12 wurde generiert, um einen Überblick in Bezug auf die Beanspruchungsgrößen und Beanspruchungsstreuungen der jeweiligen Arbeitsvorgänge zu erhalten.



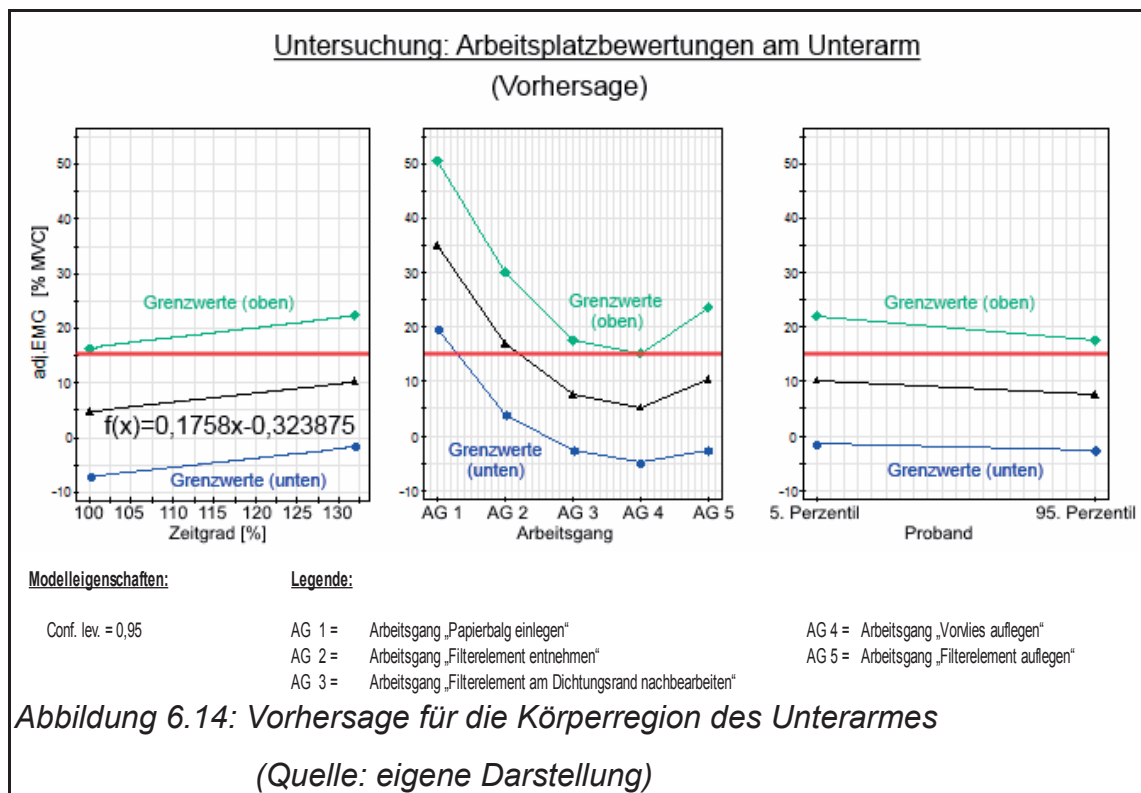
Erkennbar ist, dass fast nahezu bei allen untersuchten Arbeitsvorgängen der Grenzwert für die Dauerbelastung (rote Grenzlinie im Diagramm) von 15 % MVC ([HOL-09], S. 60 bzw. [HOE-07], S.65) überschritten wurde. Der Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ deutete die niedrigste Beanspruchungsgröße an. Dieser streute allerdings in einem Toleranzbereich von 32 N (34,5 N - 2,5 N = 32 N, siehe Abbildung 6.11, rechtes Diagramm) und überschritt damit ebenfalls den Grenzwert. An allen Arbeitsgängen schwankten die Beanspruchungen zwischen ~ 2,5 % MVC und ~ 42,5 % MVC. Auffällig war die einheitliche Streuung der Arbeitsgänge, die bei +10 % MVC/-7,5 % MVC lag (linkes Diagramm aus Abbildung 6.10).

Untersucht wurde auch die Streuung zwischen beiden Probandinnen (Abbildung 6.13).



Die Probandin vom 95. Perzentil hat eine höhere Maximalkraft im Vergleich zu Probandin 2. Dies zeigte auch die tägliche Greifkraftmessung während der Messtage. Bedingt durch die erhöhte Muskelmasse musste Probandin 1 mehr Aufwand in die Arbeitsausführung investieren und hatte dadurch ein höheres MVC. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um eine Tendenz handelt, da die Kraftdifferenz zwischen beiden Probandinnen bei 2 % MVC (21 % MVC zu 19 % MVC, linkes Diagramm in Abbildung 6.13) lag.

Abschließend wurde ein sogenannter Overlay Prediction Plot erstellt. Dieser generiert eine Vorhersage auf Basis der existierenden Datenreihen. Das Diagramm ist in drei Einzeldiagramme gegliedert, welche den Einfluss auf den Unterarm in Korrelation zum Zeitgrad (linkes Diagramm), den Arbeitsgang (mittleres Diagramm) und die Probandinnen (rechtes Diagramm) aufzeigen. In jedem dieser Diagramme ist der zu erwartende obere und untere Grenzwert angegeben. Die mittig dargestellte Linie zwischen der oberen und unteren Grenzlinie stellt den zu erwartenden Mittelwert dar.



Daraus resultieren abschließend folgende Fakten:

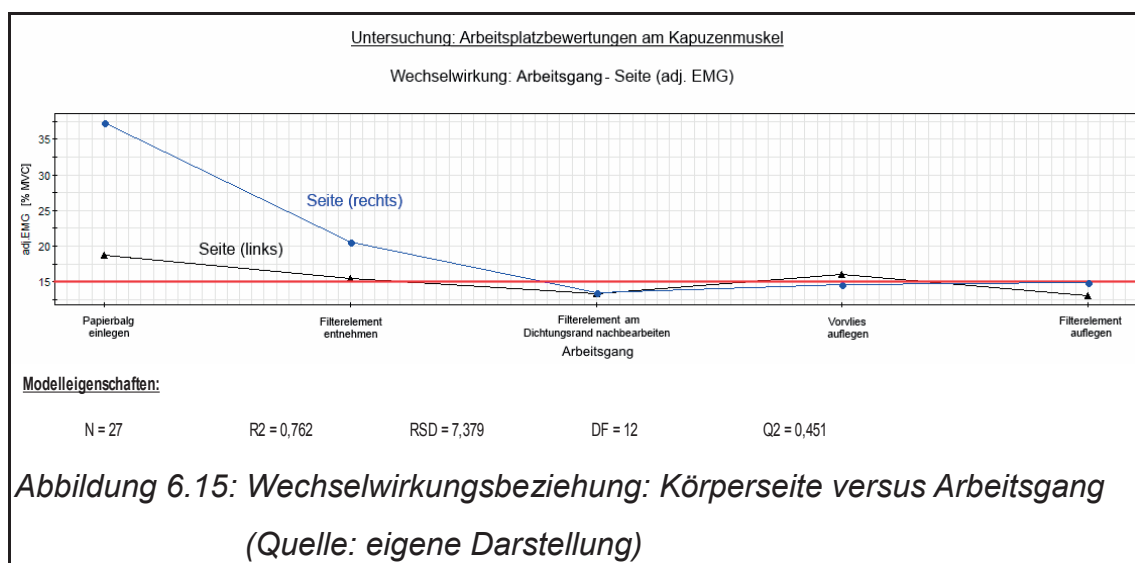
1. Der Zeitgrad hat einen signifikanten Einfluss, der mathematisch für den Unterarm folgendermaßen definiert werden kann:

Unterarm: $f(x) = 0,1758x - 0,323875$ **6.1**
(siehe linkes Diagramm in Abbildung 6.14)

2. Die höchste Kraftaufwendung wird beim Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ eingefordert. Alle weiteren Arbeitsvorgänge sind im Vergleich dazu zwischen 30 % und ~ 66 % geringer.
3. Die Probandin des 95. Perzentils musste zur Aufgabenbewältigung tendenziell höhere Kräfte aufwenden, bedingt dadurch, dass die Probandin mehr Muskelmasse besitzt.

6.1.3.2 Kapuzenmuskel (Musculus Trapezius)

Der Bereich des Kapuzenmuskels (umgangssprachlich auch Trapezmuskel genannt) wurde ebenfalls der EMG-Messung unterzogen. Dieser entspricht den Muskelgruppen der oberen Extremitäten und ist ein erregbarer Muskel, der für EMG-Messungen geeignet ist [SCH-00], S. 25. Der Kapuzenmuskel ist für die Bewegung des Schultergürtels verantwortlich [SCH-00], S. 456, und bei repetitiven Montagetätigkeiten, wie sie in dieser Arbeit beispielhaft vorzufinden waren, im Einsatz.



Das Verhalten des Kapuzenmuskels hatte Ähnlichkeit mit den Messergebnissen zum Unterarm. Der Grenzwert (15 % MVC) wurde an der rechten Körperseite des Kapuzenmuskel während der Tätigkeit „Papierbalg einlegen“ um mehr als das 2-fache ($\sim 37\% \text{ MVC} - 15\% \text{ MVC} = 22\% \text{ MVC}$) überschritten. Die Tätigkeit sollte keinesfalls über einen längeren Zeitraum am Stück vollzogen werden. Die geplante Automatisierung darf nicht nur unter dem Aspekt der Rationalisierung sondern auch unter Humanisierung gesehen werden. Auch der Arbeitsgang „Filterelement entnehmen“ war mit einem Mittelwert von $\sim 20\% \text{ MVC}$ um $\sim 5\% \text{ MVC}$ über dem Grenzwert. Auch hier wird die für 2014 vorgesehene Automatisierung einen Beitrag zur Belastungsreduktion leisten.

Die linke Körperseite des Kapuzenmuskels war für die Arbeitsgänge „Vorvlies auflegen“, „Filterelement entnehmen“ und „Papierbalg einlegen“ von Bedeutung. Eine Verbesserung wird der regelmäßige Wechsel (Maßnahme aus Kapitel

6.1.1) der Auflegethand für den Arbeitsgang „Vorvlies auflegen“ bedeuten. Die Beanspruchung für das Auflegen des Filters wird mit der Teilautomatisierung in 2014 entfallen. Für den Arbeitsgang „Papierbalg auflegen“ ist die Maßnahme der rechten Körperseite ein Synergieeffekt.

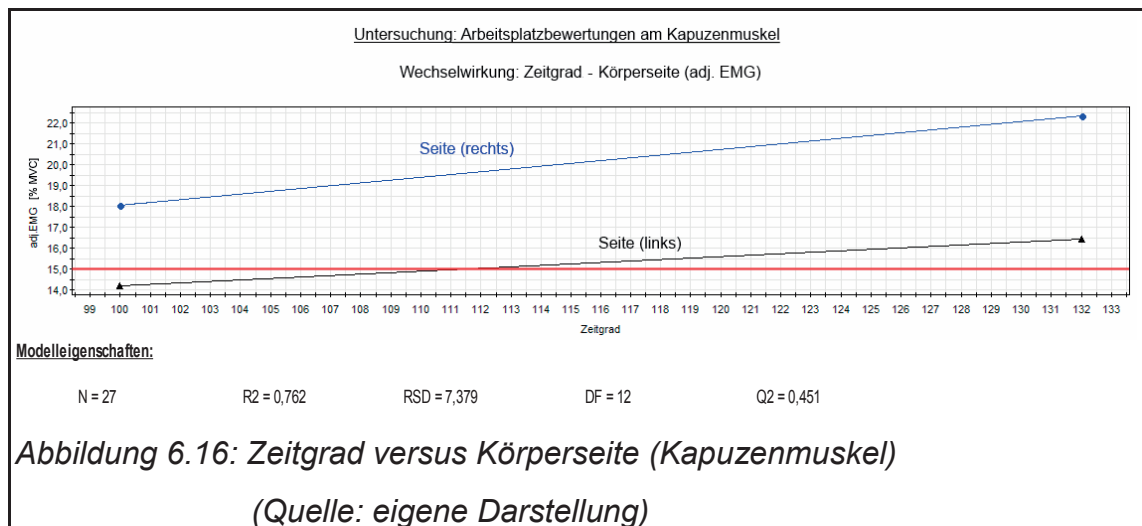
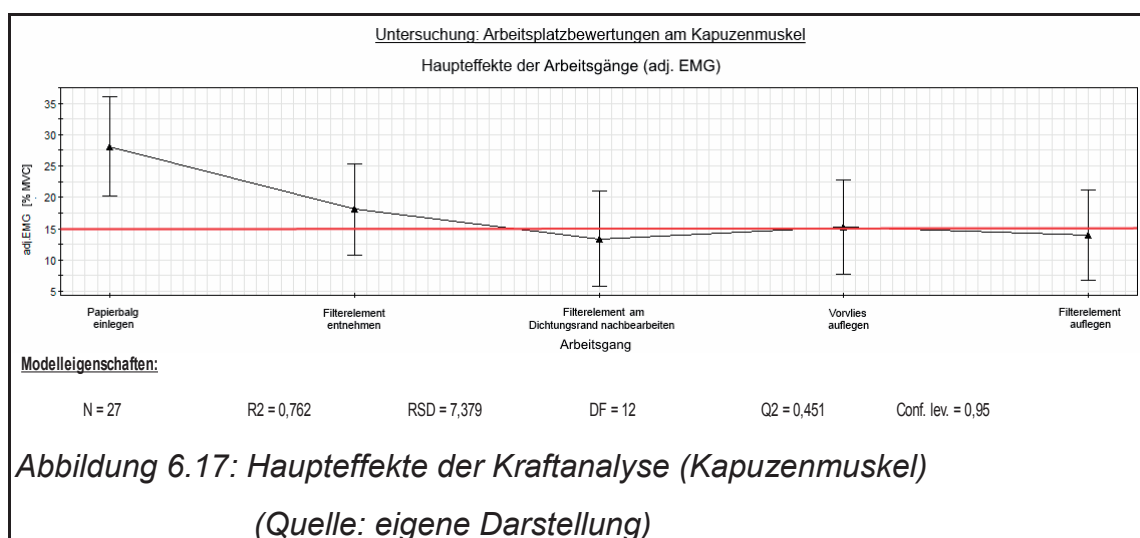
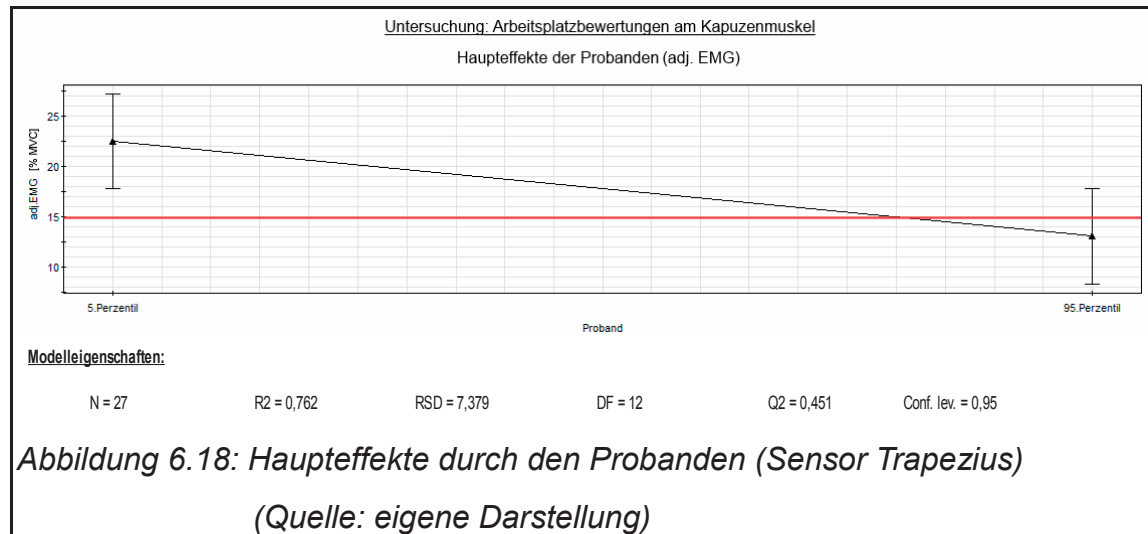


Abbildung 6.16 stellt den Zusammenhang aus Zeitgrad und Körperseite gegenüber. Der Zeitgrad hat einen eindeutigen Einfluss auf die adjustierte EMG-Messungen.

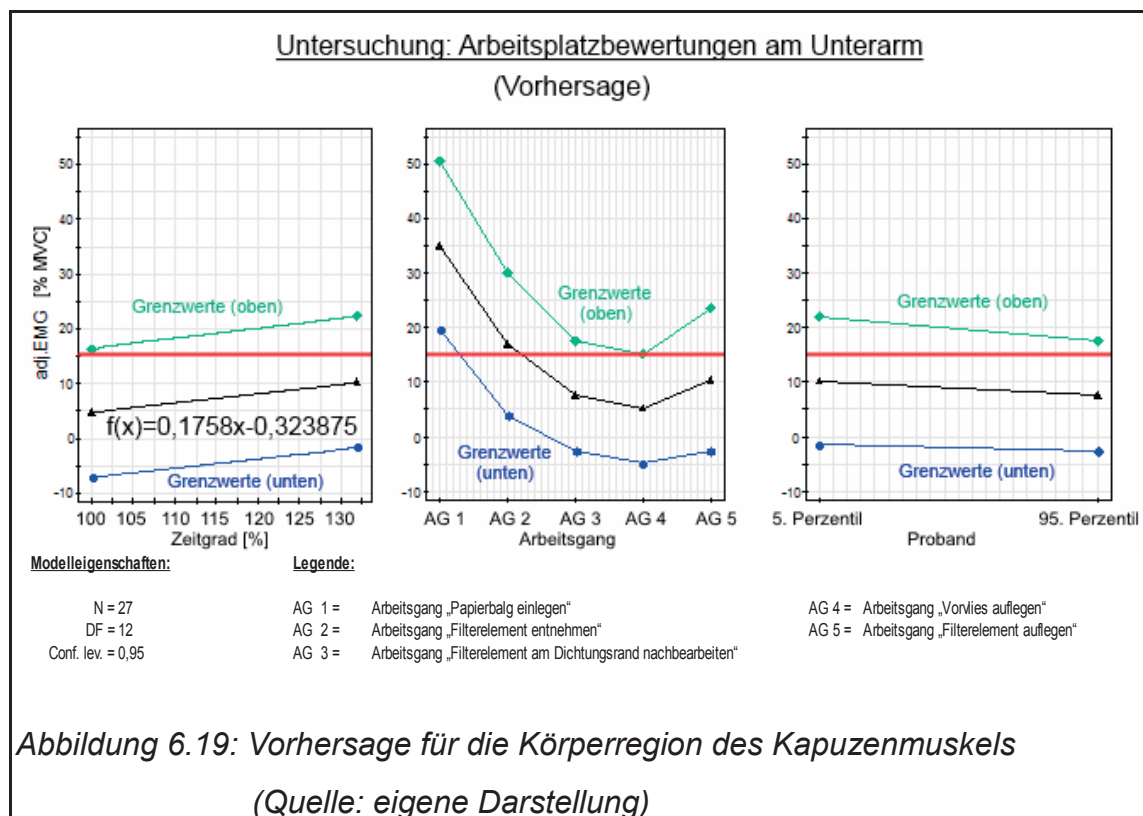


In Abbildung 6.17 wird der Haupteffekt für kritische Vorgänge transparent. Die Streuung war bei allen Vorgängen auf ähnlichem Niveau. Für den Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ kann davon ausgegangen werden, dass der Grenzwert von 15 % MVC durchgängig überschritten wird. Maßnahmen zur Reduktion sollten eingeleitet werden.



In der obenstehenden Abbildung soll der Effekt durch die Anthropometrie aufgezeigt werden. Eine Tendenz zwischen beiden Probandinnen ist erkennbar, da die MVC bei Probandin 1 um annähernd das 2-fache höher (22,5 % MVC - 12,5 % MVC = 10 % MVC) war. Dieses Ergebnis lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Probandin vom 5. Perzentil (P1) während den EMG-Messungen an allen Arbeitsvorgängen den Grenzwert für den Kapuzenmuskel überschritten hat (vgl. Abbildung 6.17). Probandin 2 konnte partiell den Grenzwert von 15 % MVC unterschreiten. Die Anthropometrie hat hinsichtlich des Kapuzenmuskel einen signifikanten Einfluss zwischen beiden Testpersonen.

Ähnlich wie für den Unterarm, wurde abschließend auch für den Kapuzenmuskel ein Vorhersagediagramm (Abbildung 6.19) erstellt. Diese deutet im linken Diagramm die Prognoseentwicklung für den Zeitgrad an. Das mittige Diagramm stellt den Kraftverlauf der EMG-Messungen im Verhältnis zu den untersuchten Arbeitsgängen dar. Rechts wird der Einfluss durch die Anthropometrie transparent. In jedem der drei Diagramme sind die zu erwartenden oberen und unteren Grenzwerte angegeben. Zusätzlich ist der Mittelwert aus den Erwartungswerten mittig zwischen den Grenzlinien zu finden.



Für den Kapuzenmuskel ergab sich abschließend folgendes Fazit:

1. Der Zeitgrad hat einen Einfluss, der mathematisch für den Kapuzenmuskel folgendermaßen definierbar ist:

Kapuzenmuskel: $f(x) = 0,039x + 11,693$

6.2

(linkes Diagramm in Abbildung 6.19)

2. Der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ enthielt Messwerte, die den Grenzwert in jeder Situation überschritten. Aufgrund dieser Tatsache sind Maßnahmen einzuleiten (mögliche Verbesserungsmaßnahmen sind dem Ursache-Wirkungsdiagramm aus Kapitel 9.4 zu entnehmen).
3. Zwischen beiden Probandinnen war für den Kapuzenmuskel ein signifikanter Unterschied zu erkennen.

6.1.4 Mikropause

Die Bedeutung dieser Kenngröße wurde bereits in Kapitel 5.2.1 erläutert. Die Mikropause ist ein elementarer Faktor, der die Erholungszeit des Muskels präsentierte. Tabelle 6.3 zeigt einen Teilausschnitt der quantifizierten Mikropausen selektiert nach analysierter Körperregion, Proband, Arbeitsgang und Zeitgrad.

Analysierte Körperregion	Proband	Arbeitsgang	Zeitgrad [%]	Mikropausen [%]
...
...
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement beschneiden	132	0,0
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement beschneiden	132	0,1
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement beschneiden	132	-
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	100	11,9
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	100	2,6
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	100	0,3
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	100	1,9
Handgelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	100	3,5
Handgelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	100	2,6
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	100	1,3
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	100	13,5
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	132	3,3
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	132	1,2
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	132	0,1
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	132	1,8
Handgelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	132	0,6
Handgelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	132	2,0
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	132	1,2
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	132	8,2
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	100	39,0
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	100	11,5
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	100	8,4
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	100	8,4
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	100	21,7
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	100	5,2
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	100	15,0
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	100	24,8
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	132	34,7
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	132	5,9
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	132	6,9
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	132	9,4
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	132	20,3
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	132	3,0
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	132	8,3
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	132	15,1
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement verpacken	132	25,4
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement verpacken	100	0,6
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement verpacken	132	0,1
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement verpacken	132	17,1
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement verpacken	100	0,4
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement verpacken	132	0,0
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement verpacken	132	15,3
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement verpacken	100	1,1
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement verpacken	132	0,0
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement verpacken	132	26,3
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement verpacken	100	1,1
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement verpacken	132	0,4

Tabelle 6.3: Teilauszug der generierten Mikropausen während der Erhebung

(Quelle: eigene Darstellung)

Die vollständige Datenreihe kann bei Bedarf der Tabelle 13.6 entnommen werden.

Die Datenreihen zur Mikropause können folgendermaßen interpretiert werden:

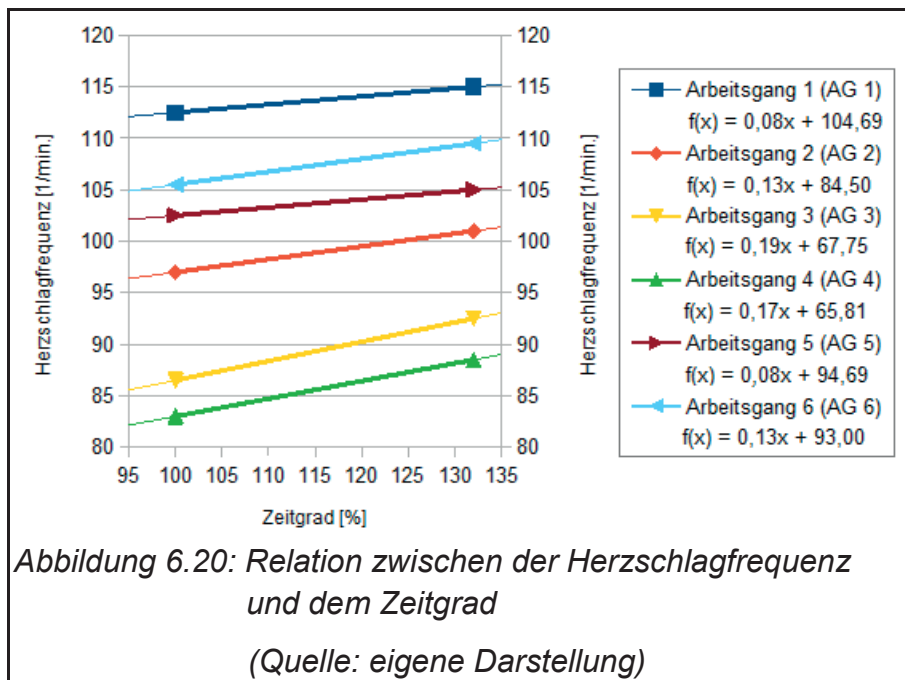
Mit Ausnahme des Arbeitsvorganges „Filterelement verpacken“ wurde die Mikropause an jedem anderen Arbeitsvorgang unterschritten und selbst dieser war nur von Probandin 1 mit ausreichenden Erholzeiten belegt. Ursache für die Gegenläufigkeit von Probandin 1 im Vergleich zu Probandin 2 war die unterschiedliche Handhabung der Verpackung, die während der Messung zum Einsatz kam (vgl. Kapitel 6.1.1).

Hinsichtlich des Zeitgrades war ein eindeutiger Zusammenhang erkennbar. Je höher der Zeitgrad, desto geringer war die Mikropause. Eine Anpassung an empfohlene Richtwerte würde zum Beispiel für den Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ eine Erhöhung der Pausenzeit um das 20-fache bedeuten. Da bei dieser Verbesserungsmöglichkeit aufgrund des wirtschaftlichen Aspekts von geringfügiger Umsetzungswahrscheinlichkeit auszugehen ist, sollte die Problematik mit anderen Lösungsmöglichkeiten kompensiert werden. Eine konkrete Maßnahme dazu wurde bereits in Kapitel 6.1.1 vorgestellt.

Der Probandeneinfluss auf die Mikropause wird in Kapitel 8.3 abgehandelt.

6.1.5 Herzschlagfrequenz

Parallel zu den CUELA-Arbeitsplatzmessungen wurde die Herzschlagfrequenz aufgezeichnet. Hierzu kam eine Messung mittels Brustgurt zum Einsatz. Diese wurde über einen Zeitraum von mehreren Minuten (siehe Abbildung 5.1) vollzogen und aus deren Einzelmessungen der arithmetische Mittelwert gebildet. Aufgrund der hohen Datendichte (jeder Pulsschlag im registrierten Zeitraum wurde vom Pulsmessgerät erfasst) konnte das Ergebnis als zuverlässig interpretiert werden.



Dabei bestätigte sich, dass bei Erhöhung der Arbeitsleistung (Zeitgrad) auch an allen Arbeitsvorgängen die Herzschlagfrequenz anstieg.

Andererseits ist eine nicht vernachlässigbare Streuung der Herzschlagfrequenz (> 30%) zwischen den einzelnen Arbeitsvorgängen erkennbar, die keine grundlegende mathematische Formel zulässt.

Um die Herzschlagfrequenz in Korrelation zu erträglichen Arbeitsbedingungen zu den jeweiligen Arbeitsgängen zu stellen, wurde das Unterkapitel 6.1.5.1 erstellt.

6.1.5.1 DLG-Verhalten in Korrelation der Herzschlagfrequenz und der Zeitgradvariation

Eine Möglichkeit zur Messung der Arbeitsbelastung stellt die Erfassung des Energieumsatzes des Menschen dar. Diverse Arbeitswissenschaftler, wie zum Beispiel HETTINGER („Angewandte Ergonomie“ [HET-70]) haben diese Methode weitreichend untersucht. Die entsprechende Literatur dient ggf. als Nachschlagewerk.

Eine weitaus reproduzierbarere Methode bietet die Erfassung der körperlichen Belastung durch Messung der Herzschlagfrequenz. Diese berücksichtigt entscheidende Faktoren, die der Energieumsatz vernachlässigt.

Darunter fällt zum Beispiel die Wärmestrahlung, die einen essentiellen Anteil auf die Arbeitsbelastung hat und über die Herzschlagfrequenz registrierbar ist. Es ist von Bedeutung, wie viele Muskeln und mit welcher Intensität diese während einer Arbeitsausführung im Einsatz sind. Für den Energieverbrauch ist der Einsatz von mehreren Muskeln mit geringerem Krafteinsatz ökonomischer als der Einsatz von weniger Muskeln mit höherem Kraftaufwand bei analoger Aufgabenstellung. Die Herzschlagfrequenz berücksichtigt diese Eigenschaft im Gegensatz zur Kalorienermittlung gemäß Energieumsatz [GRA-91], S. 85-92.

Mit steigender körperlicher Belastung erhöht sich auch die Pulsfrequenz. Bei leichter Arbeit nimmt die Pulsfrequenz sehr rasant zu und bleibt auf diesem Niveau. Wird die Arbeit unterbrochen, fällt der Puls in wenigen Minuten auf sein Ursprungsniveau zurück. Wird hingegen schwere Arbeit vollzogen, steigt die Pulsfrequenz stetig an, bis die Person die Arbeit selbständig einstellt oder ein Erschöpfungszustand sie zum Abbruch zwingt. MÜLLER hat das Verhalten näher spezifiziert [MUE-42], S. 92-106.

Zur detaillierten Studie wird *„Die Pulszahl als Kennzeichen für Stoffumtausch und Ermüdbarkeit des arbeitenden Menschen“* von MÜLLER empfohlen [MUE-42].

Mit dieser Erkenntnis ist die DLG anhand der Herzschlagfrequenz nach MÜLLER errechenbar und unterliegt folgender Gesetzmäßigkeit:

$$\text{DLG}_{\text{PlusGrenze}} \leq \text{Arbeitspulsfrequenz} = \text{Ruhepulsfrequenz} + 30 \text{ Pulsschläge} \quad 6.3$$

[GRA-91], S. 89

In dieser Untersuchung kommt hinzu, dass das weibliche Geschlecht hinsichtlich DLG zu untersuchen ist. Hierzu gibt GRANDJEAN folgende Empfehlung:

$$\text{DLG}_{\text{PlusGrenzeFrau}} \leq \text{Arbeitspulsfrequenz} = \text{Ruhepulsfrequenz} + 30 \text{ Pulsschläge} \quad 6.4$$

[GRA-91], S. 90

Dazu ein Beispiel auf Basis der Messergebnisse:

Probandin 1 hatte am Arbeitsgang 1 („Papierbalg einlegen“, Abbildung 6.20) während der Zeitgradmessung von 132 % eine Arbeitspulsfrequenz von 112,5 Schlägen pro Minute. Unter Berücksichtigung der Dauerleistungsgrenze nach Gleichung 6.4 dürfte die Ruhepulsfrequenz der Mitarbeiterin den Grenzwert 82,5 Schlägen pro Minute nicht überschreiten.

Im Vergleich dazu soll Arbeitsgang 4 für die Zeitgradmessung 100 % dienen. Die Arbeitspulsfrequenz lag bei Probandin 1 bei 83 Schlägen pro Minute. Bei Betrachtungsweise wie im vorherigen Beispiel wäre die Ruhepulsfrequenz auf 53 Schläge pro Minute limitiert.

Die Ursache für diese starke Varianz liegt in der nicht unerheblichen Streuung der Herzschlagfrequenz an den unterschiedlichen Arbeitsvorgängen begründet.

In diesem Zusammenhang stellte sich deshalb auch die Frage, inwiefern die Herzschlagfrequenz ein ähnliches Verhalten in Bezug auf Zeitgradveränderungen aufzeigte.

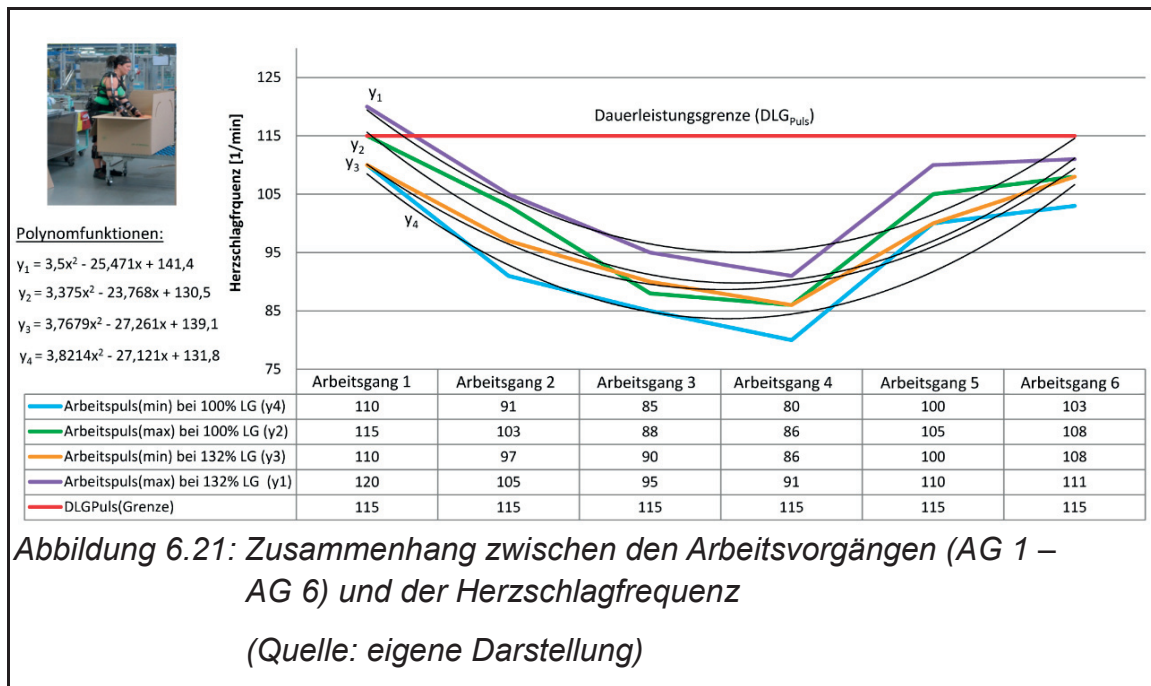


Abbildung 6.21 kennzeichnet den minimalen und maximalen Verlauf der Herzschlagfrequenz bei unterschiedlichen Akkordleistungen (100 % bzw. 132 %). Die Relationen zwischen der Herzschlagfrequenz und den Arbeitsgängen bzw. Zeitgrad hatten einen geringen Abstand zueinander und wurde näherungsweise durch eine Polynomfunktion dargestellt. Diese können mathematisch folgendermaßen dargestellt werden:

$$y_1 = 3,5893x^2 - 26,525x + 142,9 \quad \mathbf{6.5}$$

$$y_2 = 3,375x^2 - 23,768x + 130,5 \quad \mathbf{6.6}$$

$$y_3 = 3,7679x^2 - 27,261x + 139,1 \quad \mathbf{6.7}$$

$$y_4 = 3,8214x^2 - 27,121x + 131,8 \quad \mathbf{6.8}$$

Dabei sind diese vier Gleichungssysteme nach oben geöffnet (positives Vorzeichen vor dem Quadrat).

Hierzu wurde die lineare Abhängigkeit analysiert:

Dazu besteht die Möglichkeit lineare Funktionen auch als Vektoren darzustellen. Beim Vergleich von zwei linearen Funktionen bietet sich die Definition eines Skalarproduktes an. Durch den Skalar wird die Funktion als Vektor in einem unendlichen Raum dargestellt. Für den unendlich dimensionierten Vektorraum ist das L^2 -Skalarprodukt folgendermaßen definiert:

$$\langle y_1, y_2 \rangle = \int_a^b (y_1 \cdot y_2) dx \quad 6.9$$

unter der Bedingung, dass

$$y_1, y_2, y_3, y_4 \in ([a, b], \mathbb{R}) \quad 6.10$$

Das Skalarprodukt wird einer induzierten Form unterzogen. Da alle y_x positiv sind (Bedingung aus Gleichung 6.10), gilt die Cauchy-Schwarz'sche Ungleichung:

$$|\langle y_1, y_2 \rangle|^2 \leq \langle y_1, y_1 \rangle \cdot \langle y_2, y_2 \rangle \neq 0 \quad 6.11$$

[DEI-11], S. 123 - 125

Gleichung 6.11 umgestellt ergibt:

$$\left| \frac{\langle y_1, y_2 \rangle}{\sqrt{\langle y_1, y_1 \rangle} \cdot \sqrt{\langle y_2, y_2 \rangle}} \right| \leq 1 \quad 6.12$$

Der Zähler wird durch die Gleichung 6.9 substituiert und es entsteht:

$$\frac{\int_a^b (y_1 \cdot y_2) dx}{\sqrt{\int_a^b (y_1)^2 dx} \cdot \sqrt{\int_a^b (y_2)^2 dx}} \quad 6.13$$

Bei vier Variablen können sechs Kombinationen entstehen, wobei sich dadurch zwei Fragestellungen ergaben:

1. *Inwiefern gibt es Verhaltensunterschiede bei minimaler bzw. maximaler Herzschlagfrequenz?*
2. *Ist das Verhalten der linearen Funktionen bei Steigerung des Leistungsgrades ähnlich?*

Zur Beantwortung der Fragen wurden alle Kombinationen miteinander abgeglichen. In diesem Fall wurde das Integral über den Grenzen eins bis sechs berücksichtigt.

Exemplarisch für das erste Ähnlichkeitsmaß wurde die Berechnung ausführlich behandelt. Die darauffolgenden fünf Kombinationen wurden analog dazu ermittelt und aus Gründen der Übersichtlichkeit nur in Form des Ergebnisses dargestellt.

Vergleich y_1 zu y_2 :

$$y_{12} = \frac{\int_1^6 (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9) \cdot (3,375x^2 - 23,768x + 130,5) dx}{\sqrt{\int_1^6 (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9)^2 dx} \cdot \sqrt{\int_1^6 (3,375x^2 - 23,768x + 130,5)^2 dx}}$$

1. $f(x)$ und $g(x)$ im Nenner mit Trigonometrischer Formel $((a-b+c)^2 = a^2 - 2ab + 2ac + b^2 - 2bc + c^2)$ ausmultiplizieren:

$$f(x) = (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9)^2 = 12,88x^4 - 190,41x^3 + 1729,40x^2 - 7580,85x + 20420,41$$

$$g(x) = (3,375x^2 - 23,768x + 130,5)^2 = 11,39x^4 - 160,43x^3 + 1445,80x^2 - 6203,45x + 17030,25$$

2. Schritt: Stammfunktion für $f(x)$ und $g(x)$ ermitteln:

$$f(x) = 12,88x^4 - 190,41x^3 + 1729,40x^2 - 7580,85x + 20420,41$$

$$\rightarrow F(x) = 2,58x^5 - 47,60x^4 + 576,47x^3 - 3790,43x^2 + 20420,41x$$

$$g(x) = 11,39x^4 - 160,43x^3 + 1445,80x^2 - 6203,45x + 17030,25$$

$$\rightarrow G(x) = 2,28x^5 - 40,11x^4 + 481,93x^3 - 3101,72x^2 + 17030,25x$$

3. Bestimmtes Integral von $F(1) - F(6)$ ermitteln:

$$F(1) = 2,58 \cdot (1)^5 - 47,60 \cdot (1)^4 + 576,47 \cdot (1)^3 - 3790,43 \cdot (1)^2 + 20420,41 \cdot 1$$

$$F(1) = 17161,43$$

$$F(6) = 2,58 \cdot (6)^5 - 47,60 \cdot (6)^4 + 576,47 \cdot (6)^3 - 3790,43 \cdot (6)^2 + 20420,41 \cdot 6$$

$$F(6) = 68956,98$$

$$F = F(6) - F(1) = 68956,98 - 17161,43 = 51795,55$$

4. Wurzel aus F ziehen:

$$= \sqrt{51795,55} = 227,58636$$

5. Bestimmtes Integral von $G(1) - G(6)$ berechnen:

$$G(1) = 2,28 \cdot (1)^5 - 40,11 \cdot (1)^4 + 481,93 \cdot (1)^3 -$$

$$3101,72 \cdot (1)^2 + 17030,25 \cdot 1 = 14372,63$$

$$G(6) = 2,28 \cdot (6)^5 - 40,11 \cdot (6)^4 + 481,93 \cdot (6)^3 -$$

$$3101,72 \cdot (6)^2 + 17030,25 \cdot 6 = 60363,18$$

$$G = G(6) - G(1) = 60363,18 - 14372,63 = 45990,55$$

6. Wurzel aus G ziehen:

$$= \sqrt{45990,55} = 214,45$$

7. Zähler ausklammern:

$$h(x) = (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9) \cdot (3,375x^2 - 23,768x + 130,5)$$

$$h(x) = 12,11x^4 - 174,83x^3 + 1581,14x^2 - 6857,96x + 18648,45$$

8. Stammfunktion für h(x) ermitteln:

$$\rightarrow H(x) = 2,42x^5 - 43,71x^4 + 527,05x^3 - 3428,98x^2 + 18648,45x$$

9. Bestimmtes Integral von H(1) – H(6) berechnen:

$$H(1) = 2,42 \cdot (1)^5 - 43,71 \cdot (1)^4 + 527,05 \cdot (1)^3 - 3428,98 \cdot (1)^2 + 18648,45 \cdot 1$$

$$H(1) = 15705,23$$

$$H(6) = 2,42 \cdot (6)^5 - 43,71 \cdot (6)^4 + 527,05 \cdot (6)^3 - 3428,98 \cdot (6)^2 + 18648,45 \cdot 6$$

$$F(6) = 64459,98$$

$$H = H(6) - H(1) = 64459,98 - 15705,23 = 48754,75$$

10. Berechnung des Bruches ausführen:

$$= \frac{48754,75}{(227,58636 \cdot 214,45)} = \frac{48754,75}{48805,895} = 0,9989$$

Vergleich y₁ zu y₃:

$$y_{13} = \frac{\int_1^6 (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9) \cdot (3,7679x^2 - 27,261x + 139,1) dx}{\sqrt{\int_1^6 (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9)^2 dx} \cdot \sqrt{\int_1^6 (3,7679x^2 - 27,261x + 139,1)^2 dx}}$$

$$y_{13} = \frac{49831,4}{\sqrt{51764,6} \cdot \sqrt{47974,3}} = 0,9999$$

Vergleich y₁ zu y₄:

$$y_{14} = \frac{\int_1^6 (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9) \cdot (3,8214x^2 - 27,121x + 131,8) dx}{\sqrt{\int_1^6 (3,5893x^2 - 26,525x + 142,9)^2 dx} \cdot \sqrt{\int_1^6 (3,8214x^2 - 27,121x + 131,8)^2 dx}}$$

$$y_{14} = \frac{46760,1}{\sqrt{51764,6} \cdot \sqrt{42253,5}} = 0,9998$$

Vergleich y_2 zu y_3 :

$$y_{23} = \frac{\int_1^6 (3,375x^2 - 23,768x + 130,5) \cdot (3,7679x^2 - 27,261x + 139,1) dx}{\sqrt{\int_1^6 (3,375x^2 - 23,768x + 130,5)^2 dx} \cdot \sqrt{\int_1^6 (3,7679x^2 - 27,261x + 139,1)^2 dx}}$$

$$y_{23} = \frac{46961,9}{\sqrt{45978} \cdot \sqrt{47974,3}} = 0,9999$$

Vergleich y_2 zu y_4 :

$$y_{24} = \frac{\int_1^6 (3,375x^2 - 23,768x + 130,5) \cdot (3,8214x^2 - 27,121x + 131,8) dx}{\sqrt{\int_1^6 (3,375x^2 - 23,768x + 130,5)^2 dx} \cdot \sqrt{\int_1^6 (3,8214x^2 - 27,121x + 131,8)^2 dx}}$$

$$y_{24} = \frac{44073}{\sqrt{45978} \cdot \sqrt{42253,5}} = 0,9999$$

Vergleich y_3 zu y_4 :

$$y_{34} = \frac{45021,2}{\sqrt{47974,3} \cdot \sqrt{42253,5}} = 0,9999$$

Tabelle 6.4 fasst alle Vergleiche bezüglich der vier linearen Funktionen zusammen:

	y_1	y_2	y_3	y_4
y_1	-	0,9989	0,9999	0,9998
y_2	0,9989	-	0,9999	0,9999
y_3	0,9999	0,9999	-	0,9999
y_4	0,9998	0,9999	0,9999	-

Tabelle 6.4: Übersicht: Lineare Abhängigkeit der Funktionen

(Quelle: eigene Darstellung)

Das **Verhalten der Herzschlagfrequenz** ist im minimalen wie auch im maximalen Pulsfrequenzbereich vergleichbar (y_3 - y_4 bzw. y_1 - y_2). Dies bedeutet, dass unabhängig von der Leistungsanforderung (100 % oder 132 %) und der Tätigkeit der Organismus (Herzschlagfrequenz) ein sehr ähnliches Verhalten zeigt.

Betrachtet man den **Einfluss des Zeitgrades** (y_1 - y_3 bzw. y_2 - y_4) wird auch hier erkennbar, dass die lineare Abhängigkeit keinen Streuungen unterliegt.

Beide Fragestellungen aus Seite 126 wurden damit beantwortet.

Kritisch zu verfolgen ist allerdings die Überschreitung der DLG vom Arbeitsgang 1 (Papierbalg einlegen) bzw. die Annäherung an die DLG während dem Verpackungsprozess (AG 6). Beide Arbeitsgänge könnten sich der DLG annähern bzw. diese partiell überschreiten. Die Folgen dadurch wurden bereits beschrieben und sollten vermieden werden.

6.1.6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der einzelnen Einflussfaktoren wurden in den Unterkapiteln (6.1.3-6.1.5) präsentiert. Dabei enthielt jeder Einflussfaktor günstige/moderate aber auch ungünstige Belastungs- bzw. Beanspruchungssituationen.

Um eine Gesamtaussage über die betroffenen Arbeitsvorgänge treffen zu können, reicht die alleinige Betrachtung von einzelnen Einflussfaktoren nicht aus. Alle Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren müssen hierfür in Kombination zueinander betrachtet werden. Dieses Defizit greift Kapitel 10 auf.

6.2 LMM-Methodik für manuelle Arbeitsprozesse (Expertenmethode)

Das grundsätzliche Vorgehen wurde ausführlich in Kapitel 5.2.2 erläutert. In Tabelle 6.5 wird ersichtlich, dass die Beurteilung von fünf Personen (A, B, C, D und E) an sechs Akkordarbeitsplätzen vorgenommen wurde (Spalten B, D, F, H und J). Die partielle Risiko in dieser Darstellung stellt das gemittelte Ergebnis der fünf Beurteiler nach der Leitmerkmalmethode (Variante für manuelle Arbeit (Expertenmethode)/vgl. Kapitel 3.4.3.5) dar.

Die Arbeitsgänge 1 und 2 suggerieren eine Risikokennzahl im zweistelligen Bereich. Der Risikobereich bezogen auf die Gesamtbelastung, entsprach während dieser Beurteilung allerdings einem ergonomisch günstigen Arbeitsgang.

	Beurteiler A	Beurteiler B	Beurteiler C	Beurteiler D	Beurteiler E	Bemerkung
Arbeitsgang 1	49,50	45,00	36,00	40,50	63,00	AG 1 "Papierbalg einlegen"
Arbeitsgang 2	49,50	36,00	45,00	49,50	76,50	AG 2 "Filterelement entnehmen"
Arbeitsgang 3	38,25	24,75	27,00	33,75	58,50	AG 3 "Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten"
Arbeitsgang 4	29,25	4,50	4,50	15,50	15,75	AG 4 "Vorvlies auflegen"
Arbeitsgang 5	24,75	6,75	6,75	36,00	20,25	AG 5 "Filterelement auflegen"
Arbeitsgang 6	13,50	9,00	9,00	9,00	54,00	AG 6 "Filterelement verpacken"

	partielle Belastung	Gesamtbelastung (pro Arbeitstag)	Bemerkung
Arbeitsgang 1	15,75	57,09	MK-FE-AF3/1
Arbeitsgang 2	19,13		MK-FE-AF3/6
Arbeitsgang 3	7,31		MK-FE-AF3/1
Arbeitsgang 4	3,66		MK-FE-AF3/6
Arbeitsgang 5	4,50		MK-FE-AF3/6
Arbeitsgang 6	6,75		MK-FE-AF3/1

0-25 Punkte	= 25-50 Punkte	> 50 Punkte
-------------	----------------	-------------

Kritische Themen, die bei der Beurteilung auffielen:

- Luftgeschwindigkeit bei Arbeitsgang "Papierbalg einlegen" zu hoch und Körperhaltung ungünstig!
- Auch beim Arbeitsgang "Filterelement entnehmen" war die Körperhaltung ungünstig!

Tabelle 6.5: Resultate der Leitmerkmalmethode (Variante 3: „manuelle Arbeit“)
(Quelle: eigene Darstellung)

Auffällig ist die Streuung der subjektiven Beurteilungen durch die einzelnen Beurteiler. Arbeitsgang 6 „Filterelement verpacken“ wurde von den Personen B, C und D mit einem summierten Wert von 9 beurteilt. Der Arbeitsgang müsste deshalb als ergonomisch günstiger Arbeitsgang gekennzeichnet werden. Im Vergleich dazu hatte Person E den gleichen Arbeitsgang zur gleichen Situation mit einem Punktwert von 54 Punkten beurteilt und den Arbeitsgang deshalb als ergonomisch ungünstigen Arbeitsgang gekennzeichnet.

An diesem Beispiel wird das persönliche Empfinden der Beurteiler transparent.

6.3 Praxisrelevanter Abgleich zwischen beiden Verfahren

Beide Methoden sollten situationsbedingt zum Einsatz kommen.

Die Leitmerkmalmethode ermöglicht eine schnelle Einschätzung von Risikobereichen hinsichtlich physiologischer Belastungen an Arbeitsplätzen. Einige Arbeitsvorgänge (z. B. „Papierbalg einlegen“ oder „Filterelement entnehmen“) wurden korrekt eingeschätzt. Das Risiko von zu hohen physiologischen Belastungen wurde erkannt, allerdings nicht durchgängig. So wurde zum Beispiel nach der Leitmerkmalmethode der Arbeitsgang „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ als zumutbarer (gelber) Arbeitsvorgang deklariert. Das CUELA-Verfahren hat durch die die Unabhängigkeit von subjektiven Einflüssen die zu hohe

Winkelgeschwindigkeit an diesen Arbeitsgang erkannt (vgl. Kapitel 6.1.1) und das Risiko aufgedeckt.

Die Bewertung der Leitmerkmalmethode sollte deshalb nur von ergonomisch geschulten Personen erfolgen. Anderweitig besteht eine hohe Gefahr der Fehlinterpretation bzw. der falschen Beurteilung.

Die Quantifizierung von Messergebnissen ist über das CUELA-Verfahren zweifelsfrei die Sicherste. Die Ergebnisse sind reproduzierbar, da mithilfe der Software WIDAAN jegliche Situation nachgestellt werden kann. Der Nachteil dieser Methode ist zum einen der hohe Aufwand für die Versuchsdurchführung, zum anderen die fehlende Gesamtbeurteilung, die zum Beispiel die Variante 3 der Leitmerkmalmethode „manuelle Arbeit“ bietet. Außerdem ist das Equipment für CUELA-Messungen in der Regel nur über Institute beziehbar und die Messungen können nur von Experten vollzogen werden. Auch die Auswertung der Ergebnisse ist kein standardisierter Prozess und im Vergleich zur Leitmerkmalmethode mit akribischer Ausarbeitung der einzelnen Einflussgrößen verbunden. Aufgrund dieser gewonnenen Erfahrungen wird für die Zukunft folgende Empfehlung gegeben:

Im ersten Schritt sollten alle Akkordarbeitsplätze im Unternehmen geclustert werden. Durch die Zusammenfassung der Akkordarbeitsplätze wird der Aufwand für zukünftige CUELA-Messungen auf ein sinnvolles Maß reduziert.

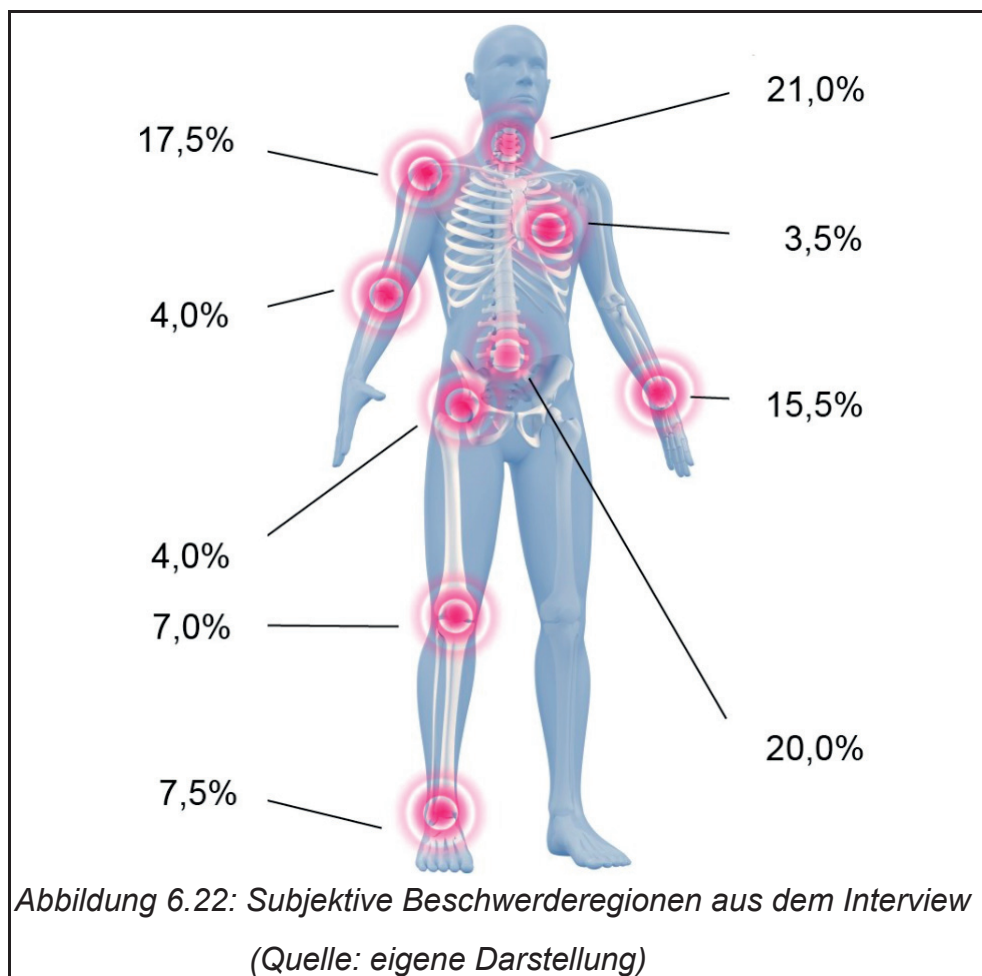
7 Bilanz zum Interview der Akkordarbeit in Kombination mit Schichtsystemen

In Form einer Befragung wurden Beschwerdebereiche bedingt durch die Akkordarbeit bei Mitarbeiterinnen erfasst und analysiert.

Damit eine hohe Rücklaufquote erzielt werden konnte, erfolgte die Befragung in Form eines Interviews.

Die Rücklaufquote erreichte dadurch einen Wert von 90 %. Das dazu kreierte Dokument ist in Anlage 13.11 einzusehen und baut auf den Grundzügen des „Nordischen Fragebogens“ [LAN-14] auf. Dieser wurde mit zusätzlichen Fragen in Bezug auf den Sonderfall der Akkordarbeit ergänzt.

Erste Ergebnisse zeigt Abbildung 6.22:

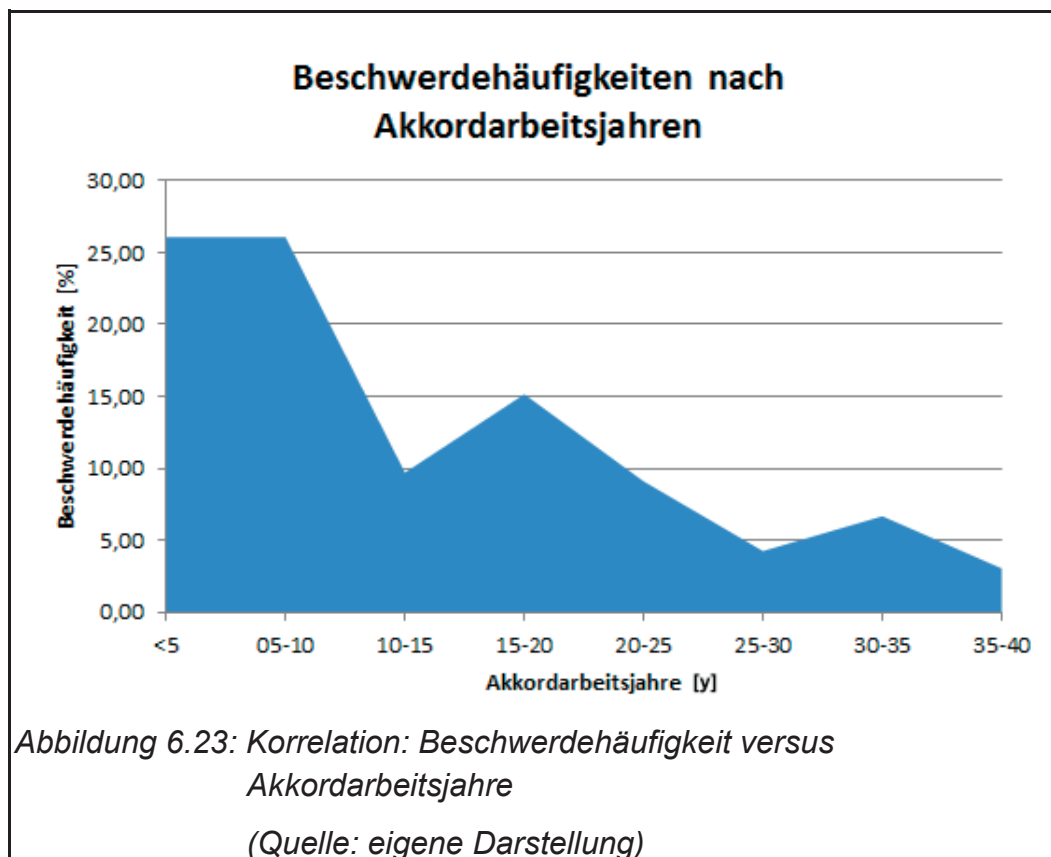


Die Hauptbeschwerdebereiche sind dem physiologischen Bereich zuzuordnen, wie sie in Abbildung 3.5 und Abbildung 3.6 (vgl. Kapitel 3.4.1.2 und Kapitel 3.4.1.3) prognostiziert wurden. Hauptschwerpunkte stellen die Halswirbelsäule, der untere Rücken, die Handgelenke, sowie der Schulterbereich dar.

Eine weitere Erkenntnis aus der Befragung waren die subjektiv belastendsten Arbeitsgänge. Hier liegt der Schwerpunkt bei folgenden vier Arbeitsvorgängen:

➤	Papierbalg einlegen (AG 1)	~ 24,0 %
➤	Luftfilterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten (AG 3)	~ 23,0 %
➤	Luftfilterelement entnehmen (AG 2)	~ 21,0 %
➤	Luftfilterelement verpacken (AG 6)	~ 20,0 %

Eine weitere Betrachtung gab Aufschluss auf einen Zusammenhang zwischen Akkordarbeitsjahren und der Beschwerdehäufigkeit. 26 % der befragten Personen hatten bereits nach weniger als fünf Jahren geleisteter Akkordarbeit erste Beschwerdesymptome. Dieser Anteil blieb in den ersten zehn Jahren annähernd konstant. Einen Zusammenhang zwischen den Akkordjahren und der Beschwerdehäufigkeit zeigt die folgende Abbildung:



Analog zur Schichtarbeit darf man aufgrund der Ergebnisse die Schlussfolgerung aufstellen, dass die ersten und meisten Beschwerdesymptome in den ersten zehn Jahren auftreten. Nach einem „Anpassungsprozess“ wird die Skalierung von physiologischen Belastungen adaptiert. Das subjektive Empfinden ist reaktionsarm bzw. träge. Kleine bis mittelschwere körperliche Belastungen suggeriert der Körper als belanglose Signale. Erst irreparable körperliche Einschränkungen werden vom Körper wahrgenommen. Dies erklärt auch, warum das Diagramm erst nach dem 15. Akkordjahr einen Anstieg von Beschwerdehäufigkeiten verzeichnet.

Dabei konnten die Beschwerden auf folgende Schwerpunkte reduziert werden:

- **Bandscheibenvorfälle**
- **Sehnenscheidenentzündungen**
- **Arthrose**
- **Entzündungen in den Gelenken**
- **Knorpelschäden**
- **Karpaltunnelsyndrom**

Um die Beschwerden zu beseitigen bzw. zu lindern, wurden den Mitarbeitern hauptsächlich folgende Behandlungen verordnet:

- **Physiotherapie (Massagen, Krankengymnastik, Stoßwellentherapie)**
- **Medikamente (Spritzen bzw. Tabletten)**
- **Akkupunktur/Wärmebehandlung**
- **Schmerztherapie**
- **Reha**
- **Operationen**

Der Anteil an sportlichen Aktivitäten pro Mitarbeiter lag im arithmetischen Mittel bei 0,102 Stunden pro Woche. Hier besteht ein klares Defizit. Arbeitgeber sowie Krankenkassen sollten diese Thematik aufgreifen und mit Fördermaßnahmen einen Anreiz für den Arbeitnehmer setzen.

Erste Krankenkassen haben darauf bereits reagiert und bieten ihren Mitgliedern sogenannte „Bonusprogramme“ an. Diese präventiven Förderungen sollen zur Reduzierung von physiologischen Beschwerden führen. Auch auf Arbeitgeberseite sind Förderungen sinnvoll und aus arbeitswissenschaftlicher Sicht empfehlenswert.

Wie bereits angemerkt, stellt die Halswirbelsäule den Hauptbeschwerdebereich dar. Rund 77 % der Befragten gaben an, dass sie an arbeitsfreien Tagen beschwerdefrei sind, allerdings bezüglich ihrer Beschwerden einen Arzt aufsuchen. Verspannungen sind die meistgenannten Diagnosen, die mittels physiotherapeutischer Maßnahmen gelindert wurden.

Hierauf hat das Unternehmen bereits reagiert und als Pilot ein externes gesundheitsförderndes Arbeitsplatzprogramm eingeführt. Ziel des Pilotprojektes ist die

Generierung von mehr Eigenverantwortung für die Erhaltung der eigenen Gesundheit. Hierzu wurden in mehreren Übungseinheiten arbeitsplatzbezogene Ausgleichsübungen zur Dehnung und Kräftigung der betroffenen Muskelbereiche durchgeführt.

Weitere Punkte des Programms sind die Sensibilisierung hinsichtlich der Nutzung von ergonomischen Hilfsmitteln und ein Verhaltenstraining zum Belastungsausgleich zwischen den verschiedenen Tätigkeiten.



*Abbildung 6.24: Arbeitsplatzbezogene Übungseinheit
(Quelle: eigene Darstellung)*

Abb. 6.24 zeigt ein Bild einer eigenständigen Übungseinheit, die in einer Kurzpause in unmittelbarer Nähe vom Arbeitsplatz stattfand.

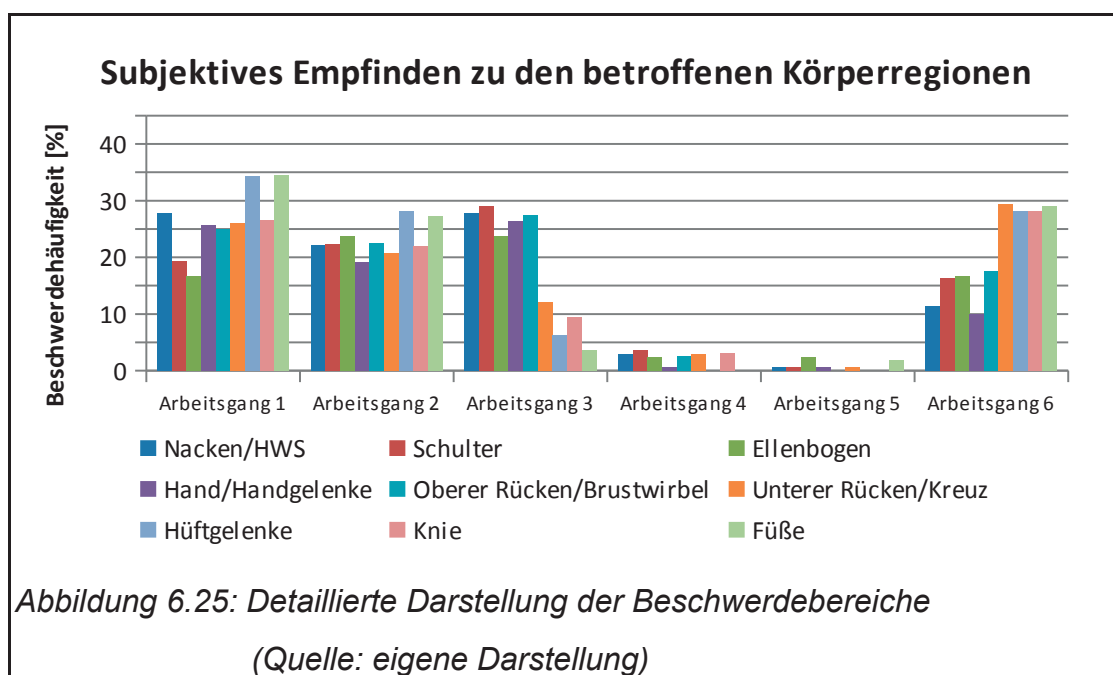
Auffallend war in diesem Zusammenhang die positive Resonanz der Mitarbeiter. Deshalb wird der weitere Ausbau dieser Maßnahme empfohlen und im Ursache-Wirkungsdiagramm mit aufgenommen.

An zweiter Stelle der meistgenannten Beschwerdebereiche war der untere Rückenbereich (Kreuz). Der Hauptanteil (~ 85 %) der Mitarbeiter, die von Kreuzbeschwerden betroffen waren, klagten über vollflächige Beschwerden. Nur etwa 15 % der Mitarbeiter hatten einseitige Beschwerden. Eine Betrachtung bezüglich

eines Zusammenhangs von Links- bzw. Rechtshändern war nicht erkennbar. 80 % der Personengruppe war an arbeitsfreien Tagen beschwerdefrei. 77 % davon hatten bereits einen Arzt konsultiert. Typische Symptome in diesen Zusammenhang sind: Abnutzung der Gelenke, Entzündungen und Muskelverletzungen. An dritter Stelle befanden sich Schulterbeschwerden mit einem prozentualen Häufigkeitsanteil von 18 % bei der befragten Belegschaft. Entzündungen und Verspannungen waren auch hier die meistgenannten Erkrankungen. Diese könnten im Zusammenhang mit den repetitiven Arbeiten stehen.

Der vierte signifikante Beschwerdebereich umfasst den Bereich der Handgelenke mit 15 % Beschwerden. Neun von zehn Mitarbeiter waren Rechtshänder, allerdings war kein Zusammenhang zwischen Beschwerdebereich und Links- bzw. Rechtshändigkeit erkennbar.

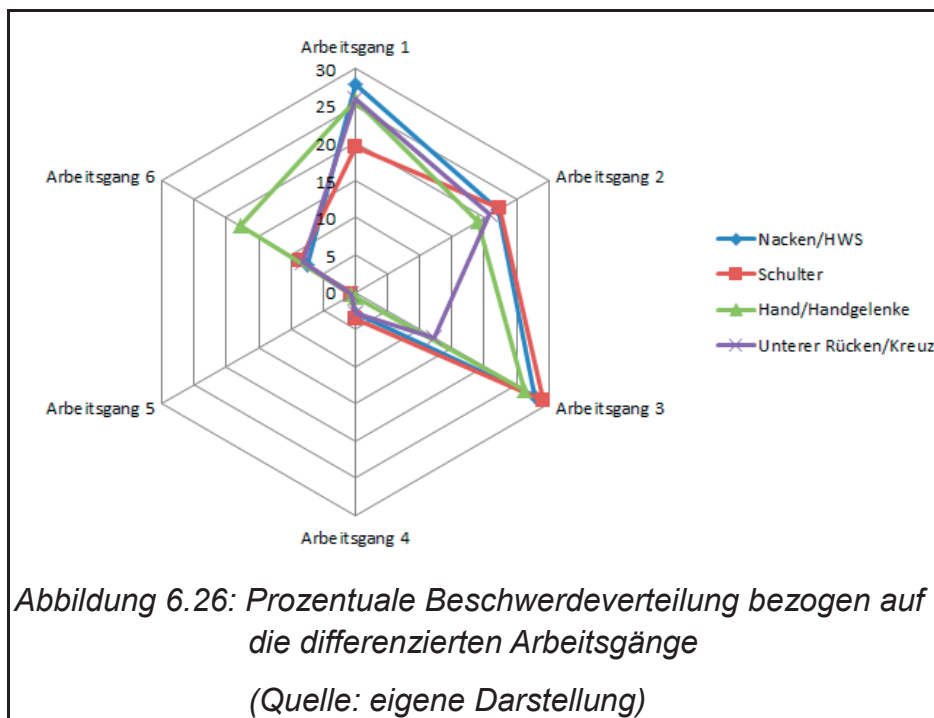
Abbildung 6.25 gibt einen Überblick, welche Arbeitsgänge für physiologische Beschwerden verantwortlich waren.



Die Verteilung zeigt eindeutig, dass folgende Arbeitsvorgänge Beschwerden beim Mitarbeiter hervorrufen:

- Arbeitsgang 1: Papierbalg einlegen
- Arbeitsgang 2: Filterelement entnehmen
- Arbeitsgang 3: Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten
- Arbeitsgang 6: Filterelement verpacken

Diese wurden in Abbildung 6.26 deshalb nochmals konkretisiert:



Der Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ stellt laut Umfrage den größten Beschwerdefaktor dar. Fast $\frac{1}{3}$ der Befragten haben aufgrund dieser Tätigkeit Beschwerden im Nacken und Halswirbelbereich. Auch die Handgelenke und der untere Rücken (Kreuz) zeigten Beschwerdesymptome bei ~ 25 % der Befragten auf.

Ähnlich kritisch ist der Arbeitsgang "Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten" anzusehen. Hier gaben ~ 28 % Beschwerden im Nacken bzw. Halswirbelbereich an. Die Handgelenke waren ähnlichen Umständen ausgesetzt. Der untere Rücken bzw. die Kreuzregionen waren mit ~ 28 % belastet und die Schulterregion wurde von jeder dritten Person moniert.

Ebenso war eine erhöhte körperliche Belastung durch den Arbeitsgang "Filterelement entnehmen" erkennbar. 20 % der Befragten klagten über Schulterbeschwerden und 22 % über Nacken-/Halswirbelbeschwerden bzw. ~ 19 % über Handgelenksprobleme.

In diesem Zusammenhang konnte auch registriert werden, dass der Arbeitsgang "Filterelement verpacken" ausschließlich die Handgelenke belastete.

Eine weitere Erkenntnis aus der Befragung war das Ergebnis bezüglich Schlafstörungen. Etwa die Hälfte aller befragten Mitarbeiter hat Probleme mit dem Er-

holungsschlaf. Nimmt man dieses Ergebnis etwas genauer in Augenschein, wird ein Zusammenhang zwischen Schlafstörungen und der Anzahl der gearbeiteten Schichtjahre erkennbar. Schlafstörungen aufgrund der Schichtarbeit treten nach dem Empfinden der Mitarbeiter erst nach dem 30. Akkord- bzw. Schichtjahr auf. Nur etwa 9 % der betroffenen Personengruppe gab an, bereits vor dem 30. Akkord- bzw. Schichtjahr an Schlafstörungen zu leiden. Hingegen hatten 32 % der Personengruppe zwischen dem 30. und 35. Akkord- bzw. Schichtjahr Schlafdefizite. Weitere 59 % hatten nach dem 35. Akkord-/ bzw. Schichtjahr regelmäßige Schlafstörungen.

Diese Erkenntnis basiert auf rein subjektiven Empfinden und bestätigt die Destabilisierungstheorie aus Kapitel 3.2.1.3.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die subjektive Wahrnehmung der Mitarbeiter auch mit den Messergebnissen korreliert. Die Mitarbeiterinnen benannten vier Arbeitsvorgänge als belastend. Drei dieser Arbeitsgänge wurden auch durch die CUELA-Messungen als stark belastend identifiziert. Auch die Reihenfolge der prozentualen subjektiven Beurteilung entsprach den Messergebnissen.

Auffällig war die Beschwerdehäufigkeit, die in den ersten zehn Jahren doppelt so hoch war wie in den zwanzig Folgejahren (Abbildung 6.23). Es scheint als finde ein „Adaptationsprozess“ statt.

Eine Korrelation zwischen den Beschwerden und den ausgewählten Bewertungsmethoden war eindeutig erkennbar. Die Gewinnung von belastbaren Daten durch ein Interview war in diesem Fall mit einer qualitativ sehr hohen Genauigkeit verbunden und stellt deshalb eine Alternative zu vorhandenen Bewertungsmethoden dar.

8 Überprüfung der Hypothesen

Die Hypothesen aus Kapitel 4 wurden auf den folgenden Seiten entsprechend der Untersuchungsergebnisse bewertet.

8.1 These zur Zeitgradvariation

Eine der vier Nullhypothesen lautet, dass in mindestens 9 von 10 Situationen eine Veränderung des Zeitgrades auch zu einer Veränderung der physiologischen Belastung/Beanspruchung führt.

Bedingt dadurch ergeben sich folgende Ausgangsparameter:

H_0 : $p \geq 0,9$

H_A : $p < 0,9$

Signifikanzniveau: 5 %

Testanordnung: linksseitiger Test

n: 38; 63; 153; 44; 41

Um die Testgröße berechnen zu können, wurden die Daten in einer Kreuztabelle zusammengefasst.

	Einfluss durch Zeitgrad	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6	n	Erfolgswahrscheinlichkeit ($p = \frac{n_{ja}}{n_{ja} + n_{nein}}$)	Anzahl der physiologischen Belastungs-/ Beanspruchungsveränderung	Alpha-Fehler	Ab- lehnungs- bereich	An- nahme- bereich	Nullhypo- these
Mittelfrequenz	nein	0	1	0	1	2	0	4	0,89	34	3,18%	{0; ...30}	{31; ...38}	angenommen
	ja	8	5	7	5	5	4	34						
Winkelgeschwindigkeit	nein	0	1	2	0	0	0	3	0,95	60	4,68%	{0; ...52}	{53; ...63}	angenommen
	ja	12	12	8	10	12	6	60						
Körperhaltung	nein	10	9	13	20	16	6	74	0,52	79	3,14%	{0; ...130}	{131; ...153}	verworfen
	ja	22	19	7	9	9	13	79						
Körperkraft	nein	0	2	1	0	1	0	4	0,91	40	2,80%	{0; ...35}	{36; ...44}	angenommen
	ja	8	6	7	8	7	4	40						
Mikropause	nein	1	1	3	4	0	0	9	0,78	32	4,77%	{0; ...33}	{34; ...41}	verworfen
	ja	4	7	5	4	8	4	32						

Legende:

AG1 = Arbeitsgang "Papierbalg einlegen"

AG2 = Arbeitsgang "Filterelement entnehmen"

AG3 = Arbeitsgang "Filterelement beschneiden"

AG4 = Arbeitsgang "Vorvlies auflegen"

AG5 = Arbeitsgang "Filterelement auflegen"

AG6 = Arbeitsgang "Filterelement verpacken"

Tabelle 8.1: Hypothesentest zur Zeitgradvariation

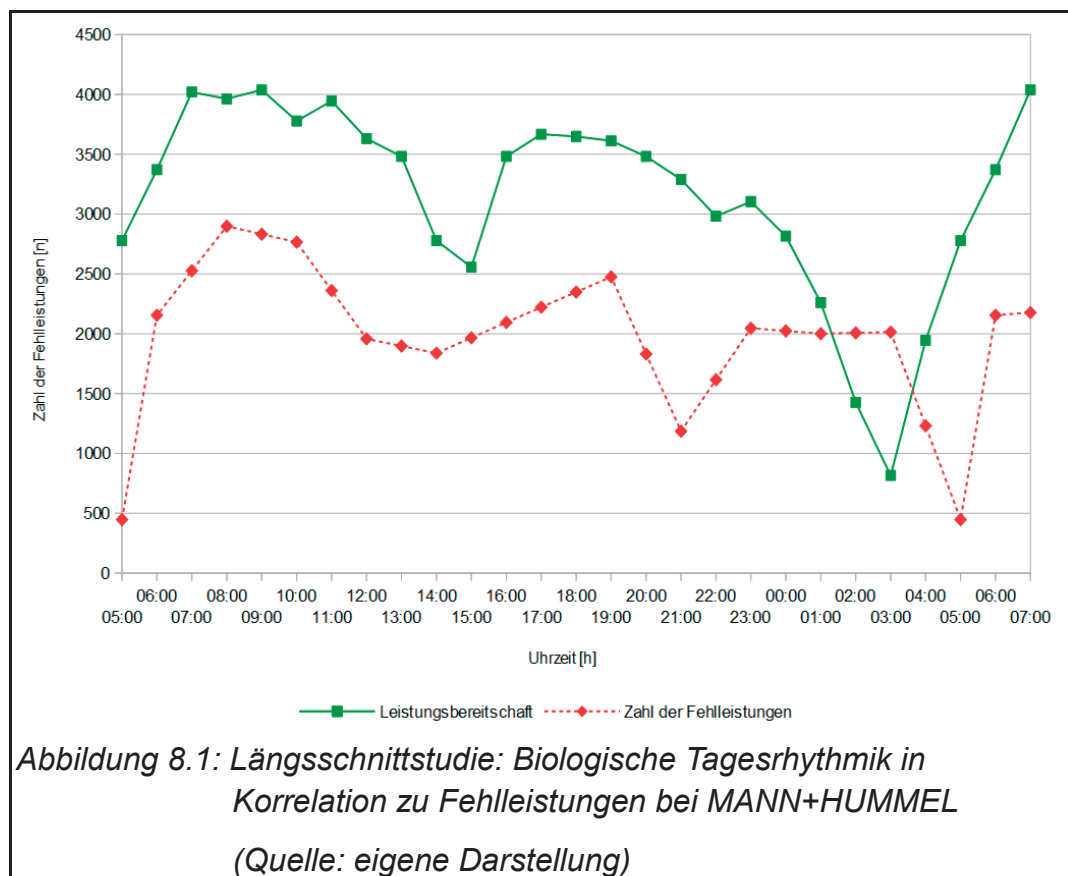
(Quelle: eigene Darstellung)

Die Grundwerte zu den einzelnen Arbeitsgängen aus der obigen Tabelle können dem jeweiligen Kapitel bzw. der Anlage (Tabelle 6.3, Tabelle 13.4 oder Tabelle 13.5) entnommen werden.

Als endgültige Schlussfolgerung bleibt festzuhalten, dass für 60 % aller untersuchten Einflussgrößen die Nullhypothese angenommen werden kann. Ausschließlich für die Körperhaltung und die Mikropause ist H_0 zu verwerfen.

8.2 Hypothesenüberprüfung zum erhöhten Ausschuss während der Nacharbeit

Die Analyse bezüglich des Ausschusses wurde über einen Zeitraum von 18 Monaten (Oktober 2011 bis März 2013) aufgezeichnet. Aufgrund des Zeitraums war eine sehr hohe Anzahl an Einzelwerten verfügbar. In Summe wurden ~ 24.000 Werte verarbeitet. Das Ergebnis dazu ist Abbildung 8.1 zu entnehmen.



Die aufgestellte Nullhypothese aus Kapitel 4.2 besagt, dass die Streuung zwischen der durchgeführten Erhebung dieser Arbeit (Abbildung 8.1) und der ursprünglichen Untersuchung aus Abbildung 3.4 einer maximalen Abweichung von 5 % zugrunde liegt.

Daraus ergaben sich folgende Ausgangsparameter:

H_0 : $p \leq 0,95$

H_A : $p > 0,95$

Signifikanzniveau: 5 %

Testanordnung: rechtsseitiger Test

n: 9 Mittelwerte zu verschiedenen Uhrzeiten aus ~ 24.000 Einzelwerten

Quelle	05:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	19:00	21:00
Abbildung 3.4 Zahl der Fehlleistungen	3.518	2.926	2.333	2.518	2.667	3.518	2.815	2.685	3.007
Abbildung 3.4 p [%]	1,0	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	0,8	0,9
Abbildung 8.1 Zahl der Fehlleistungen	447	2154	2898	2765	1957	1837	2094	2475	1185
Abbildung 8.1 p [%]	0,2	0,7	1,0	1,0	0,7	0,6	0,7	0,9	0,4
Prozentuale Abweichung zwischen beiden Untersuchungen	-0,85	-0,09	0,34	0,24	-0,08	-0,37	-0,08	0,09	-0,45

Uhrzeit	Abweichung zwischen beiden Untersuchungen [%]	Ab- lehnungs- bereich	Annahme- bereich	Null- hypothese
05:00	-85%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
06:00	-9%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
08:00	34%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
10:00	24%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
12:00	-8%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
14:00	-37%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
16:00	-8%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
19:00	9%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen
21:00	-45%	{D=IR{9}}	{9}	verworfen

Tabelle 8.2: Hypothesentest: Leistungsbereitschaft versus Ausschuss
(Quelle: eigene Darstellung)

Um die aufgestellte Nullhypothese zu erfüllen, hätte die Abweichung zu allen neun Uhrzeiten einer Streuungsgenauigkeit von 5 % entsprechen müssen. **Diese Forderung konnte in dieser Untersuchung zu keinem Zeitpunkt erfüllt werden. Die Nullhypothese ist damit zu verwerfen.**

Im Fall der MANN+HUMMEL GmbH wurde der Zeitraum gegen 05:00 Uhr näher hinterfragt, da während der Morgenstunden von 04:00 – 06:00 Uhr die Fehlerquote geringer war als zu späteren Tageszeiten. Dazu wurde die Aufzeichnung detailliert.

Unter der Annahme, dass Fehler in homogenen Rhythmen auftreten, muss die Wahrnehmung zu Nachtzeiten extrem eingeschränkt sein. Es wird temporär unterstellt, dass Fehler während der Nacht wie auch zu Tagzeiten gleichermaßen produziert werden. Allerdings bleiben diese zu Nachtzeiten unentdeckt. Im Umkehrschluss würde dies bedeuten, dass zu Nachtzeiten ein erhöhtes Qualitätsrisiko bezüglich der Einhaltung von spezifizierten Merkmalen bestünde. Dazu wurde das untersuchte Spektrum auf Reklamationsfälle sondiert.

Hier stellte sich heraus, dass keine Auffälligkeiten zwischen den einzelnen Schichten erkennbar waren. Die Verteilung der Reklamationsfälle war deckungs-

gleich zu Tagschichten. Somit konnte in der vorliegenden Datenreihe keine Gegenläufigkeit zwischen der Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter und den Fehlleistungen nachgewiesen werden. Das Ergebnis lässt vermuten, dass es weitere Faktoren (wie z. B. das Schichtmodell, Einfluss der Mitarbeiter auf die Prozessstabilität, ...) gibt, die das Verhalten zwischen der Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter und des Ausschusses beeinflussen.

8.3 Darstellung von anthropometrischen Differenzen

Eine weitere Hypothese lautete, dass sich der Einfluss durch die Anthropometrie in mehr als 75 % aller untersuchten Einflussfaktoren erkennbar ist.

Die aufgestellte Hypothese beruht dadurch auf folgender Grundlage:

H_0 : $p \geq 0,75$

H_A : $p < 0,75$

Signifikanzniveau: 5 %

Testanordnung: linksseitiger Test

n: 30

Dazu wurde folgende tabellarische Darstellung erzeugt:

Einflussgröße	AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6	Alpha-Fehler	Ablehnungsbereich	Annahmebereich	Nullhypothese
Mittenfrequenz	5/5	3/3	4/5	1/1	2/2	0/4	2,16%	{0; ...17}	{18; ...30}	verworfen, da ausschließlich 11 Übereinstimmungen (n = 30)
Winkelgeschwindigkeit	7/6	5/5	9/8	2/1	5/4	1/5				
Körperhaltung	4/4	3/2	3/2	2/2	2/2	4/3				
Körperkraft	9/5	8/5	8/5	6/7	7/6	9/7				
Mikropause	9/9	6/4	9/9	8,4/8,4	2,9/5,5	1/9				
* Datenbasis kann der Anlage in Kapitel 13.7 entnommen werden										
<div>Legende:</div> <div><div>AG 1 = Arbeitsplatz "Papierbalg einlegen"</div><div>AG 2 = Arbeitsplatz "Filterelement entnehmen"</div><div>AG 3 = Arbeitsplatz "Filterelement beschneiden"</div><div>AG 4 = Arbeitsplatz "Vorlies auflegen"</div><div>AG 5 = Arbeitsplatz "Filterelement auflegen"</div><div>AG 6 = Arbeitsplatz "Filterelement verpacken"</div></div>										
<div>Tabelle 8.3: Tabellarischer Probandenvergleich inkl. Nullhypothesenbewertung</div> <div>(Quelle: eigene Darstellung)</div>										

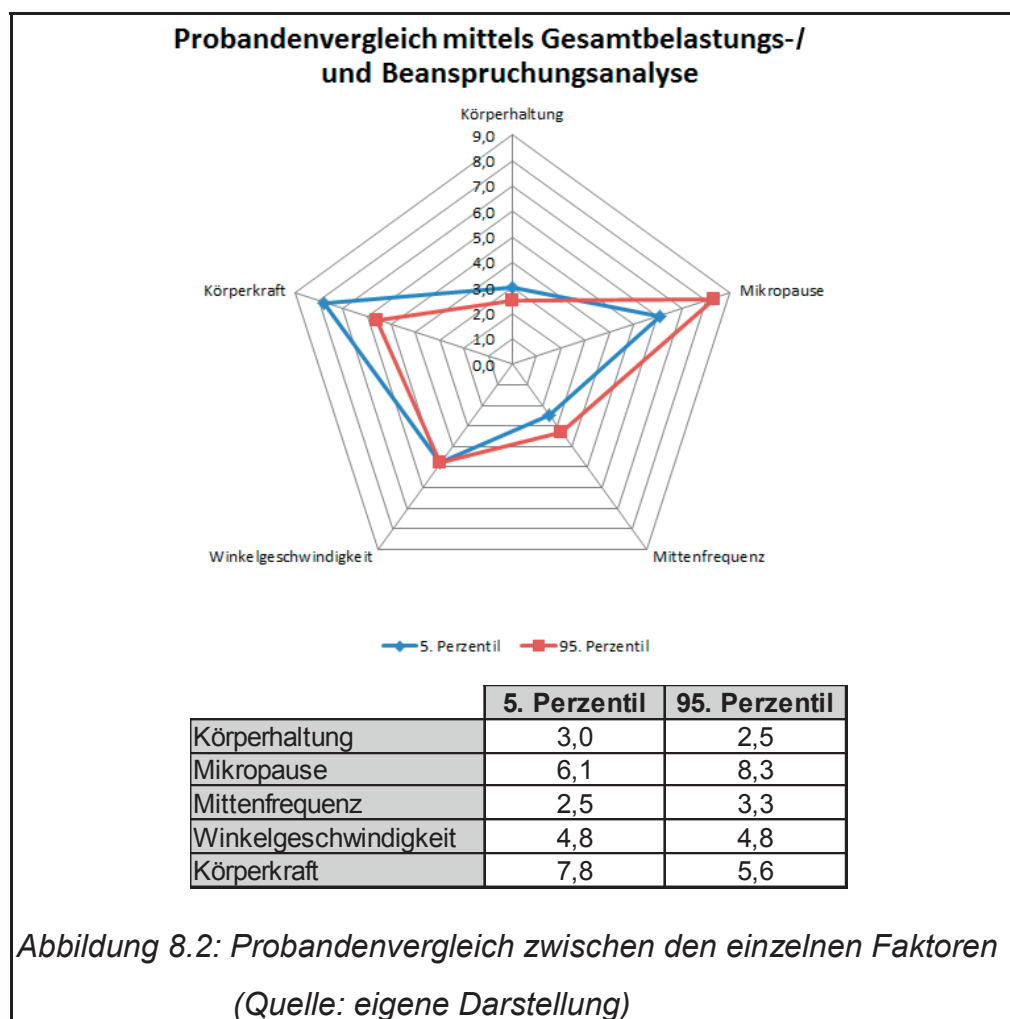
Die rot markierten Felder werden der Forderung nach Einheitlichkeit nicht gerecht. Ein Beispiel dazu ist der Arbeitsgang 3 (AG 3) für die Einflussgröße „Mittelfrequenz“. Hier erzielte Probandin 1 einen Punktwert von 4 Punkten; Probandin 2 hingegen einen Punktwert von 5 Punkten. Dies wird in Tabelle 8.3 durch die Kennzeichnung „4/5“ dargestellt.

Die Erläuterung zur Punktwertvergabe in Tabelle 8.3 kann bei Bedarf Kapitel 10.1 entnommen werden.

Um die Nullhypothese zu bestätigen, wären 18 Übereinstimmungen notwendig gewesen. Das Messergebnis lässt elf Übereinstimmungen erkennen. Bei den Arbeitsgängen „Papierbalg auflegen“ (AG 1) und „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“ (AG 3) wurden die meisten Übereinstimmungen erzielt. Beide Arbeitsvorgänge hatten bei drei von fünf Einflussfaktoren gleiche Werte vorzuweisen.

Die Nullhypothese ist deshalb auch in diesen Fall zu verwerfen.

Unabhängig von der Hypothese, soll an dieser Stelle der generelle Vergleich zwischen beiden Probandinnen bei Zusammenfassung der Arbeitsvorgänge aufgezeigt werden. Dazu wurde Abbildung 8.2 generiert.



Die beiden Einflussfaktoren Mikropause und Körperkraft waren unabhängig vom Probanden im höheren Punkteniveau.

Der direkte Vergleich zwischen beiden Probandinnen zeigte auf, dass die Probandin vom 95. Perzentil tendenziell eine höhere Winkelgeschwindigkeit und eine kürzere Mikropause hatte. Andererseits hatte diese Probandin eine günstigere Körperhaltung und geringere % MVC - Werte. Als Fazit bei festzuhalten, dass Unterschiede zwischen beiden Probandinnen erkennbar waren, allerdings keine Systematik im direkten Vergleich zwischen dem 5. und 95. Perzentil.

8.4 Nachweis des Beurteilungsgrades der Leitmerkmalmethode „manuelle Arbeit“ (E)

Die aufgestellte Nullhypothese lautet, die Abweichung zwischen beiden Bewertungsmethoden beträgt maximal 10 %. Dadurch ergab sich folgende Ausgangsbasis für die Hypothesenuntersuchung:

H_0 : $p \leq 0,1$

H_A : $p > 0,1$

Signifikanzniveau: 5 %

Testanordnung: rechtsseitiger Test

n: 5 Arbeitsvorgänge x 6 Bewerter = 30

	CUELA-Verfahren		Leitmerkmalmethode – Variante 3 „manuelle Arbeit“									
Arbeitsgang	CUELA	Rang	Bewerter A	Rang	Bewerter B	Rang	Bewerter C	Rang	Bewerter D	Rang	Bewerter E	Rang
Papierbalg einlegen	32	5	12,38	5	11,25	6	9,00	5	10,13	5	15,75	5
Filterelement entnehmen	26	4	12,38	5	9,00	5	11,25	6	12,38	6	19,13	6
Filterelement beschneiden	33	6	4,78	4	3,09	4	3,38	4	4,22	3	7,31	4
Vorvlies auflegen	20	1	3,66	3	0,56	1	0,56	1	1,97	2	1,97	1
Filterelement auflegen	20	1	3,09	2	0,84	2	0,84	2	4,50	4	2,53	2
Filterelement verpacken	22	3	1,69	1	1,13	3	1,13	3	1,13	1	6,75	3

* Datenbasis kann der Tab. 6.5 bzw. den Werten in Kapitel 13.7 entnommen werden

Tabelle 8.4: Methodenvergleich: Leitmerkmalmethode (Variante 3: „manuelle Arbeit“) - CUELA-Verfahren

(Quelle: eigene Darstellung)

Annahmebereich: $\{0; \dots 6\}$

Ablehnungsbereich: $\{7; \dots 30\}$

Alpha-Fehler: 2,58 %

Die Nullhypothese lässt demnach eine maximale Abweichung in sechs Fällen zu. Tabelle 8.4 stellt das Ergebnis zu dieser Hypothese dar. Zum Beispiel hatte Be-

urteiler A den Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ mit 12,38 Punkten beurteilt und wäre demnach in der Rangfolge an fünfter Stelle. Auch das Ergebnis der CUELA-Auswertung hat diesen Arbeitsgang an Rangfolge 5 platziert. In diesen Fall besteht eine Übereinstimmung (grün markierte Zelle). Im Vergleich ist bei Beurteiler B dieser Arbeitsgang an Position 6 geführt und hatte damit keine Übereinstimmung erzielt. In Summe wurden zwanzig Abweichungen registriert. **Da dieser Wert im Ablehnungsbereich liegt, ist die Nullhypothese zu verwerfen!**

Die Nullhypothese wäre erst bei einer Fragestellung nach einer zulässigen Abweichung von 52 % anzunehmen gewesen.

Die Leitmerkmalmethode stellte damit in dieser Untersuchung kein zuverlässiges Instrument für die Beurteilung von Montagetätigkeiten der oberen Extremitäten in der Akkordarbeit dar.

8.5 Zusammenfassung

Abschließend soll das Ergebnis der Hypothesen zusammengefasst werden. Die erste aufgestellte Hypothese war anzunehmen, da drei von fünf Untersuchungsparametern die Nullhypothese erfüllten (vgl. Tabelle 8.1). Dabei ist zu beachten, dass der Zeitgrad in dieser Untersuchung tendenziell zu einer Erhöhung der physiologischen Belastung/Beanspruchung führte.

Die zweite These bezog sich auf den Ausschuss zu Nachtzeiten. Diverse Untersuchungen (vgl. Kapitel 3.3) haben dazu geführt, dass aufgrund des biologischen Tagesrhythmus bei Nachtzeiten von erhöhtem Ausschuss auszugehen ist. Der Beweis dieser These sollte durch eine umfangreiche Studie für dieses Fallbeispiel belegt werden. Die in Kapitel 4.2 aufgestellte Nullhypothese hierzu konnte allerdings nicht bestätigt werden und war deshalb zu verwerfen.

Eine weitere Hypothese wurde mit der Anthropometrie aufgestellt. Dazu orientierte sich der Versuchsplan (vgl. Abbildung 5.1) an den Grenzwerten der Anthropometrie (5./95. Perzentil). Die Nullpunkthypothese war auch für dieses Szenario zu verwerfen. Eindeutige Zusammenhänge waren in 11 von 30 Situationen nachvollziehbar.

Die vierte Hypothese handelte den Beurteilungsgrad der Leitmerkmal-methode ab. Wie in Kapitel 3.4.3.5 beschrieben, bietet diese Methode eine schnelle und einfache Möglichkeit zur Analyse von erhöhten Risikobereichen. Dazu wurde eine Hypothese aufgestellt, welchen Beurteilungsgrad die Methode für Montage-tätigkeiten der oberen Extremitäten in der Akkordarbeit beschreibt. Das Ergebnis hierzu kann Tabelle 8.4 entnommen werden. Die Nullhypothese war auch in die-sen Fall zu verwerfen, da nur 10 von 30 Übereinstimmungen vorzufinden waren.

9 Handlungsempfehlungen zur systematischen Reduzierung der physiologischen Belastung/Beanspruchung

Um die Überschaubarkeit zu den jeweiligen Handlungsempfehlungen, die aus dieser Arbeit entstanden sind, zu wahren, wurde der Thematik ein eigenständi-ges Kapitel gewidmet. Kapitel 9 zeigt mögliche Potentiale auf, die zur Effizienz-steigerung im Unternehmen beitragen können.

9.1 Jobrotation und Neustrukturierung der Reihenfolge

Der Begriff Jobrotation beschreibt den Arbeitsplatzwechsel und trägt in günstigen Fällen zur Verteilung von Belastungsspitzen bei. Dabei erfolgt ein definierter Ar-beitsplatzwechsel in einer festgelegten Zeitperiode.

Das Strukturierungsprinzip wird bereits seit Jahren am Standort erfolgreich prak-tiziert. Es wird im 60-Minuten-Zyklus und gemäß der Produktionsprozesse rotiert.

Prinzipiell hat eine Rotation folgende Vor- bzw. Nachteile:

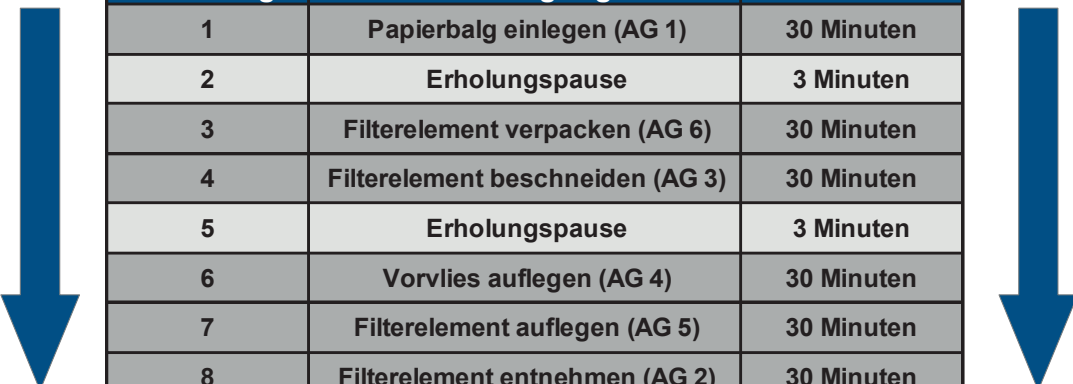
- + geringere einseitige körperliche Belastung**
- + Abbau sozialer Isolierung durch Kontakt zu Kolleginnen**
- + Erhöhung der Flexibilität der Mitarbeiterinnen**
- + höhere Arbeitszufriedenheit, durch gleichmäßige Verteilung der Ar-beitsschwere**
- erhöhter Einübungsgrad nach Arbeitsplatzwechsel**
- höhere Anforderung an die Mitarbeiterinnen**

Anhand der Analysen kann aus arbeitswissenschaftlicher Sicht nur die Empfehlung ausgesprochen werden, auch weiterhin den Einsatz dieses Instrumentes beizubehalten. Die Rotation mindert einen Leistungsabfall mit steigender Beobachtungszeit. Diese Gesetzmäßigkeit wurde mit verschiedensten Untersuchungen belegt und ist in Literatur von SCHMIDTKE, MACHWORTH et al. zu finden [GRA-91], S. 148-151.

Gemäß der Validierungen von MACKWORTH et al. ist die Vigilanz in den ersten 30 Minuten am höchsten und fällt in den darauffolgenden Minuten signifikant ab [GRA-91], S. 148.

Deshalb sollte in einem Pilotprojekt eine Rotation im 30-Minuten-Zyklus erprobt werden.

Weiterhin ist die Reihenfolge der Rotation an physiologische Gesichtspunkte zu adaptieren. Folgende Rotationsfolge wird auf Grundlage der Erkenntnisse aus Kapitel 6.1 empfohlen:



Reihenfolge	Arbeitsgang	Zeitraum
1	Papierbalg einlegen (AG 1)	30 Minuten
2	Erholungspause	3 Minuten
3	Filterelement verpacken (AG 6)	30 Minuten
4	Filterelement beschneiden (AG 3)	30 Minuten
5	Erholungspause	3 Minuten
6	Vorvlies auflegen (AG 4)	30 Minuten
7	Filterelement auflegen (AG 5)	30 Minuten
8	Filterelement entnehmen (AG 2)	30 Minuten

Tabelle 9.1: Empfohlene Reihenfolge für Jobrotation
(Quelle: eigene Darstellung)

Dabei orientieren sich die 3 Minuten Erholpause an einer Richtwertempfehlung des Institutes für Arbeitsschutz (vgl. Kapitel 5.2.1), die nach Überschreitung von Grenzwerten (bezogen auf Mikropausen) eine 10%ige Erholpause empfiehlt.

Der Pausenausgleich sollte aus wirtschaftlichen Gründen von taktunabhängigen Personen (z. B. Springerdienst) übernommen werden und ist ggf. mit gesetzlichen Vorgaben zu kombinieren.

9.2 Schichtzeitmodelle mit arbeitswissenschaftlichem Fokus

Schichtzeitmodelle unterliegen vielen Faktoren, wie zum Beispiel der Gesundheit, der Flexibilität, dem Kostenaspekt aber auch gesellschaftlichen Bedürfnissen. Diese vollständig miteinander abzugleichen und ausnahmslos zu erfüllen, ist aufgrund von gegenseitigen Interessenkonflikten unmöglich.

Aus diesem Ergebnis kann der MANN+HUMMEL GmbH am Standort Marklkofen folgenden **Handlungsempfehlung** gegeben werden:

- 1. Vorwärtsrotation beim Schichtwechsel**
- 2. Einhaltung mindestens eines freien Wochenendtages**
- 3. lange Ruhephasen nach einer Nachtschichtphase (> 24 Stunden)**
- 4. Nachtschichtphasen verkürzen**
- 5. Schichtmodelle mit erhöhtem Personalbestand und reduzierter Wochenarbeitszeit**

[BEE-00], S. 35-41 bzw. [SCH-92], S. 94-97

1. Vorwärtsrotation beim Schichtwechsel:

Der Wechselrhythmus zwischen Nacht-, Spät- und Frühschicht führt beim Mitarbeiter zu einer Phasenerhöhung des Rhythmus zwischen Schlaf- und Wachphase. Der menschliche Organismus bevorzugt eine Phasenverkürzung und deshalb sollte der Vorwärtswechsel forciert werden [SCH-92], S. 95.

2. Einhaltung von mindestens eines freien Wochenendtages:

Dem Mitarbeiter sollte die Möglichkeit zur Ausübung gesellschaftlicher Aktivitäten gegeben werden. Deshalb basiert die Forderung darauf, dem Mitarbeiter/der Mitarbeiterin mindestens einen freien Wochenendtag kombiniert mit einem Wochentag einzuräumen. Mögliche Varianten wären Freitag und Samstag oder Sonntag kombiniert mit Montag. Dadurch wird dem Mitarbeiter die Möglichkeit gegeben, seinen Freizeitaktivitäten nachzugehen [BEE-00], S. 37. Es ist davon auszugehen, dass der gesellschaftliche Ausgleich auch der effektiven Leistungsfähigkeit bzw. Leistungsbereitschaft im Unternehmen dienen.

3. Lange Ruhephasen nach einer Nachtschichtphase (> 24 Stunden):

Der Sinn dieser Forderung basiert darauf, dass der Mitarbeiter/die Mitarbeiterin die Möglichkeit gegeben wird, sich über einen längeren Zeitraum von der Arbeitstätigkeit zu erholen. Wie bereits mehrfach beschrieben, unterliegt die Nachtarbeit einer erhöhten Belastung und dementsprechend wird mehr Zeit für eine vollständige Regeneration benötigt. Nach BEERMANN ist eine Ruhezeit von 48 Stunden das Optimum. Die Mindestzeit sollte allerdings bei 24 Stunden liegen [BEE-00], S. 36.

Es wird nahegelegt, Handlungsempfehlung 1 mit der erhöhten Erholungszeit zu kombinieren. Ein Szenario wäre ein Modell mit zwei Nachtschichten, denen zwei freie Tage folgen.

4. Nachtschichtphasen verkürzen:

Gegenwärtig kommt das Prinzip der „Dauernachtarbeit“ zum Einsatz. Die betroffenen Mitarbeiter haben das Gefühl, sich an die nächtliche Arbeitszeit angepasst zu haben (vgl. Kapitel 7). Dies ist allerdings ein Trugschluss, da für eine vollständige Anpassung eine andauernde Lebensumstellung notwendig wäre. Ein einziger Tag, der eine Rückstellung enthält, führt bereits zu einer partiellen Umstellung des Biorhythmus an den „Normalzustand“. Da die Wochenenden zur Freizeit dienen und eine Teilumstellung alleine schon aus gesellschaftlichen Gründen nicht vermeidbar ist, wird die Forderung nicht erfüllt [BEE-00], S. 35.

Empfohlen wird eine Nachtschichtarbeit von zwei hintereinanderliegenden Tagen. Diese hätte auch den Nebeneffekt, dass es zu keiner vollständigen Abkoppelung vom sozialen Leben kommt und somit die physische und psychische Belastung abnimmt.

5. Schichtmodelle mit erhöhtem Personalbestand und reduzierter Wochenarbeitszeit:

Diese Maßnahme erhöht zwar den Anteil der Mitarbeiter und damit verbunden die Personalkosten vom Unternehmen, kann allerdings langfristig zur Reduktion des Krankenstandes führen.

In diesem Beispiel wird ein 4-Stunden-Modell dargestellt, welches sich im Rhythmus von sieben Wochen wiederholt und auf eine 6-Tage-Woche ausgelegt ist. Die eingetragenen Zahlen (von 1 bis 7) stellen die jeweilige Schichtgruppe dar.

Woche	Montag						Dienstag						Mittwoch					
	06:00-10:00	10:00-14:00	14:00-18:00	18:00-22:00	22:00-02:00	02:00-06:00	06:00-10:00	10:00-14:00	14:00-18:00	18:00-22:00	22:00-02:00	02:00-06:00	06:00-10:00	10:00-14:00	14:00-18:00	18:00-22:00	22:00-02:00	02:00-06:00
1	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
2	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3
3	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2
4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1
5	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
6	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
7	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
Woche	Donnerstag						Freitag						Samstag					
	06:00-10:00	10:00-14:00	14:00-18:00	18:00-22:00	22:00-02:00	02:00-06:00	06:00-10:00	10:00-14:00	14:00-18:00	18:00-22:00	22:00-02:00	02:00-06:00	06:00-10:00	10:00-14:00	14:00-18:00	18:00-22:00	22:00-02:00	02:00-06:00
1	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6
3	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
5	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3
6	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2
7	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1

Das Schichtmodell wiederholt sich alle 7 Wochen
4 Stunden pro Schicht

Abbildung 9.1: Beispiel eines alternativen Schichtmodells (4-Stunden- Modell)
(Quelle: eigene Darstellung)

Durch sieben verschiedene Schichten ist eine flexible und kurzfristige Kapazitätsplanung möglich.

Bedingt durch die tägliche Arbeitszeit von vier Stunden, wird das Modell der Forderung nach ausreichender Erholung und Freizeit gerecht. Diverse OEM's praktizieren diese Variante des Schichtzeitmodells.

9.3 Korrektive Ergonomie

Unter korrektiver Ergonomie werden Maßnahmen verstanden, die während der Bewertungsmethode erkennbar wurden und ein mögliches Potential zur Reduzierung von physiologischen Belastungen darstellen. Diese Defizite sind nicht immer vollständig umsetzbar, da sie einen Kompromiss aus erzielbarem Effekt und wirtschaftlichem Aufwand darstellen [SCH-10], S. 950. Maßnahme 3 und Maßnahme 8 auf den folgenden Seiten sind typische Beispiele für korrektive Ergonomie, die im Nachgang mit sehr hohen Kosten verbunden sind und deshalb keine zeitnahe Realisierung finden werden.

Mit dem Pendant zur korrektiven Ergonomie, der prospektiven Ergonomie, wäre der Kostenaufwand für diese Maßnahmen während der Konstruktion der Anlagentechnik vernachlässigbar gering gewesen.

Lfd.-Nr.	Maßnahme	Beschreibung	Kosten
1	Höhenverstellung der Bühne	Erstellen einer Richtwerttabelle für Steharbeitsplätze mit empfohlenen Höheneinstellungen anbringen und in den Ablauf integrieren	0,00 €
2	Frühzeitiges Einsetzen in die Gießform beim Arbeitsgang "Papierbalg einlegen" unterbinden	Abdeckung beschaffen und montieren lassen	200,00 €
3	Schwenkeinheit der Formenträger flexibel verstellbar	Thematik bei Umbauten/Neubeschaffungen berücksichtigen	0,00 €
4	Veränderte Arbeitsausführung beim Arbeitsgang "Vorvlies auflegen" und "Filterelement auflegen"	Ablaufänderung (Wechsel der Auflegehand) bzw. Automatisierung der Tätigkeit	0,00 €
5	Begrenzung der Abnahmestelle vom Filterelement "Abschottung"	Abdeckung beschaffen und montieren lassen	1.000,00 €
6	Stühle mit Kopfstützen	Beschaffung eines ersten Pilotstuhles (zum testen)	550,00 €
7	Stuhlhöhen nach Perzentilen	Richtwerttabelle für Sitzarbeitsplätze mit empfohlenen Höheneinstellungen anbringen und in den laufenden Prozess installieren	0,00 €
8	Trennmittelsprüheinrichtung (außen eintrennen)	Berücksichtigung bei Umbauten und Neubeschaffungen	0,00 €
9	Umsetzung vom Ursache-Wirkungsdiagramm	siehe Abbildung 9.2	0,00 €
			1.750,00 €

*Tabelle 9.2: Technische/Organisatorische Verbesserungsmaßnahmen
(Quelle: eigene Darstellung)*

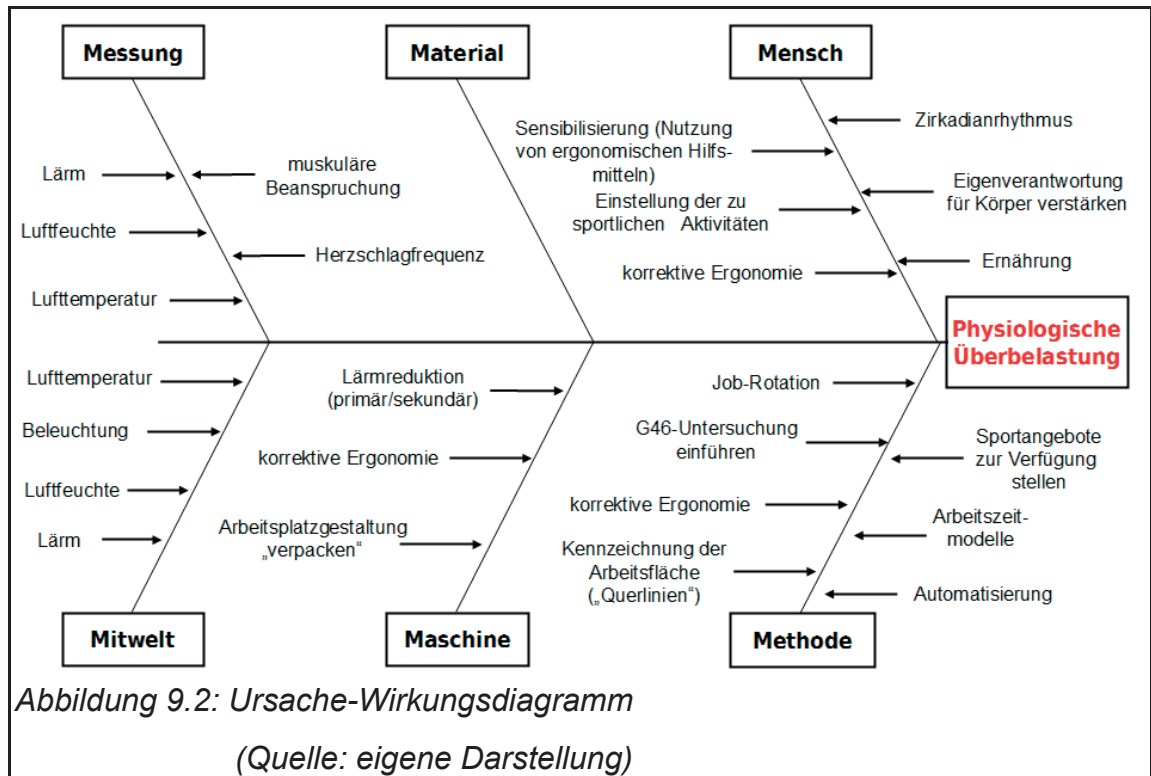
Als weiterer Punkt sollte die G46-Untersuchung implementiert werden. Nur durch präventives Vorgehen ist ein langfristiger Erfolg gesichert. Weiterhin ist der Lärmpegel an Messstelle 3 zu berücksichtigen. Die Ursachen dafür wurden definiert. Es sollte mit primären und sekundären Maßnahmen eine Lärmreduzierung erzwungen werden.

Belastungsfaktoren der Arbeitsumgebung, wie die Lufttemperatur oder die Luftfeuchte, sind in den häufigsten Fällen nur mit hohen finanziellen Mitteln (z. B. in Form von klimatisierten Räumen) möglich. Maßnahmen sollten deshalb nur dann erfolgen, wenn es die Situation unweigerlich erfordert. Lösungen hierzu sind gemäß des Standes der Technik nach Kapitel 2.1.6 abzuarbeiten.

9.4 Zusammenfassung

Dieses Unterkapitel bildet den Abschluss von Kapitel 9 und soll nochmals in aller Kürze alle möglichen Verbesserungsmaßnahmen aufzeigen:

Dazu wurde ein Ursache-Wirkungsdiagramm (Abbildung 9.2) genutzt. Unter jeder Maßnahme, die einer Kategorie (zum Beispiel „Methode“) zugeordnet wurde, ist das entsprechende Kapitel angegeben, in welchem die Details zur Verbesserungsmaßnahme zu finden sind.



10 Entwicklung eines Modells zur Analyse der Gesamtbelastung/- beanspruchung der oberen Extremitäten an Akkordarbeitsplätzen

Mit den in dieser Arbeit entwickelten Modell sollen zukünftige Analysen für ähnliche Belastungssituationen vereinfacht werden und dem Anwender die Möglichkeit bieten, sich einen schnellen Überblick zur gegenwärtigen Situation hinsichtlich physiologischer Belastungen/Beanspruchungen zu verschaffen. Dieses Modell ersetzt keine Detailauswertung. Es ist vielmehr dafür gedacht, eine Übersicht zur schnellen Registrierung von ergonomisch kritischen Arbeitsvorgängen zu bekommen und daraus resultierende Maßnahmen treffen zu können.

Ein weiteres Argument, welches die Konstruktion dieser Gesamtbelastungs-/beanspruchungsanalyse rechtfertigt, ist die Tatsache, dass die Managementebene in Unternehmen an überschaubaren Ergebnissen mit nachvollziehbaren Thesen interessiert ist.

Das Verfahren soll darüber hinaus alle sieben Systemelemente eines Arbeitssystems (Kapitel 2.1) abbilden und berücksichtigen.

Als Bewertungsmaßstab wurde ein Punktesystem definiert, welches mit allen untersuchten Einflussfaktoren referenzierbar war.

Unkritische Vorgänge wurden dem Punktwert 0-2 zugewiesen. Ein Punktwert von 3-5 wurde für Arbeitsabläufe vergeben, die beobachtet werden sollten. Verbesserungswürdig sind alle Tätigkeiten, die mit einem Punktwert von 6 oder 7 bewertet wurden. Ab einem Punktwert von 8 besteht akuter Handlungsbedarf. Tabelle 10.1 fasst diese Definition nochmals zusammen:

Punktwert	Aktion
0-2	physiologisch unkritischer Vorgang
3-5	Arbeitsplatz ist zu beobachten
6-7	Verbesserungen notwendig
ab 8	akuter Handlungsbedarf

*Tabelle 10.1: Definition der Punktwerte zum Gesamtbelastung-/ beanspruchungsmodell für physiologische Belastungen/ Beanspruchungen der oberen Extremitäten an Akkordarbeitsplätzen
(Quelle: eigene Darstellung)*

Die untersuchten Einflussparameter wurden mit den definierten Punktwerten kalibriert.

1. Körperhaltung:

Die Bewertung der Körperhaltung erfolgte anhand der Häufigkeit an ungünstigen Körperhaltungen. Der Grenzwert für ungünstige Körperhaltungen wurde auf einen zeitlichen Anteil von 45 % an der Gesamtmesszeit limitiert und einem Punktwert von 9 Punkten zugeordnet. Die Definition hierzu basiert auf Grundlage einer Stichprobenbefragung (Grundgesamtheit: $N = 300$; Stichprobe $n = 200$). Dabei hatte ein Großteil der Befragten ($p = 0,73$) das subjektive Empfinden von unangenehmen Körperhaltungen bei einer zeitlichen Häufigkeit von $\geq 45\%$ an der Gesamtzeit. Statistisch ist aufgrund der Befragung mit einer 95%igen Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass dieser Umfragewert in den Konfidenzintervallen 0,69 bis 0,77 liegt.

↓ Punktwert ↓	Körperhaltung
0	$\leq 5\%$
1	$\leq 7,5\% \wedge > 5\%$
2	$\leq 10\% \wedge > 7,5\%$
3	$\leq 15\% \wedge > 10\%$
4	$\leq 20\% \wedge > 15\%$
5	$\leq 30\% \wedge > 20\%$
6	$\leq 35\% \wedge > 30\%$
7	$\leq 40\% \wedge > 35\%$
8	$\leq 45\% \wedge > 40\%$
9	$> 45\%$
Beschreibung	Anteil an ungünstigen Körperhaltungen
Grundlage	RÖHRIG

*Tabelle 10.2: Punktwert für die Körperhaltung
(Quelle: eigene Darstellung)*

Auf Basis dieser Informationen wurde die Zuordnung zwischen ungünstiger Körperhaltung und Punktwert getroffen.

Ein Beispiel dazu wären die Messergebnisse für die „Halskrümmung nach vorne“ (4. Messstelle). Dieser verzeichnete für Probandin 1 während der Arbeitsausführung am Arbeitsgang „Papierbalg einlegen“ einen Häufigkeitswert von $\sim 44\%$ (Mittelwert aus beiden Zeitgradmes-

sungen) an ungünstigen Körperhaltungen. Dieser Vorgang wäre deshalb mit einem Punktwert von 8 zu bewerten gewesen.

2. Winkelgeschwindigkeit:

Hierzu existieren wissenschaftlich fundierte Grenzwerte, die in Kapitel 5.2.1 bereits beschrieben wurden. Aus diesen konnte folgende Festlegung erfolgen:

↓ Punktwert ↓	Winkelgeschwindigkeiten
0	$\leq 4,5 \text{ }^\circ/\text{s}$
1	$\leq 6 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 4,5 \text{ }^\circ/\text{s}$
2	$\leq 9 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 6 \text{ }^\circ/\text{s}$
3	$\leq 11 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 9 \text{ }^\circ/\text{s}$
4	$\leq 23 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 11 \text{ }^\circ/\text{s}$
5	$\leq 25 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 23 \text{ }^\circ/\text{s}$
6	$\leq 30 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 25 \text{ }^\circ/\text{s}$
7	$\leq 32 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 30 \text{ }^\circ/\text{s}$
8	$\leq 35 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 32 \text{ }^\circ/\text{s}$
9	$> 35 \text{ }^\circ/\text{s}$
Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert aus allen Einzelmessungen
Grundlage	HANSSON

*Tabelle 10.3: Punktwert für den Einflussfaktor der Winkelgeschwindigkeit
(Quelle: eigene Darstellung)*

Für den betroffenen Arbeitsvorgang und Probanden wurde der arithmetische Mittelwert aus allen Einzelwerten gebildet. Dieser wurde mit der jeweiligen linearen Funktion zur Winkelgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des Zeitgrades multipliziert. Die betroffenen Körperregionen der Winkelgeschwindigkeiten wurden gemittelt und mit dem Multiplikationsfaktor zur Winkelgeschwindigkeit verrechnet. Ein Beispiel hierzu ist auf Seite 166 zu finden.

3. Mittenfrequenz:

↓ Punktwert ↓	Mittenfrequenz
0	$\leq 22 \text{ Hz}$
1	$\leq 25 \text{ Hz} \wedge > 22 \text{ Hz}$
2	$\leq 32 \text{ Hz} \wedge > 25 \text{ Hz}$
3	$\leq 40 \text{ Hz} \wedge > 32 \text{ Hz}$
4	$\leq 40 \text{ Hz}$
5	$\leq 41 \text{ Hz}$
6	$\leq 42 \text{ Hz}$
7	$\leq 43 \text{ Hz}$
8	$\leq 44 \text{ Hz}$
9	$> 44 \text{ Hz}$
Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert aus allen Einzelmessungen
Grundlage	HANSSON

*Tabelle 10.4: Bewertungsgrundlage für die Mittenfrequenz
(Quelle: eigene Darstellung)*

Auf gleiche Weise wie die Winkelgeschwindigkeit wurde auch die Handhabung des dritten Parameters spezifiziert. Die Grenzwerte für die Mittenfrequenz können Tabelle 10.4 entnommen werden.

Um Klarheit über die bereits definierten Punktwerte und Ergebnisse der Einflussfaktoren zu bekommen, wurden die Daten verdichtet und zusammengefasst (siehe Tabelle 10.5).

	AG 1 Papierbalg einlegen [Punktwert]	AG 2 Filterelement entnehmen [Punktwert]	AG 3 Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten [Punktwert]	AG 4 Vorvlies auflegen [Punktwert]	AG 5 Filterelement auflegen [Punktwert]	AG 6 Filterelement verpacken [Punktwert]
Proband 1 [5. Perzentil]						
Körperhaltung	4	3	3	2	2	4
Mittenfrequenz	5	3	4	1	2	0
Winkelgeschwindigkeit	7	5	9	2	5	1
Proband 2 [95. Perzentil]						
Körperhaltung	4	2	2	2	2	3
Mittenfrequenz	5	3	5	1	2	4
Winkelgeschwindigkeit	6	5	8	1	4	5

Tabelle 10.5: Zusammenfassung: Punktwertvergabe für die Körperhaltung, die Winkelgeschwindigkeit und die Mittenfrequenz

(Quelle: eigene Darstellung)

Die detaillierte Berechnung dieser gemittelten Werte ist im Anhang (Tabelle 13.5) zu finden.

Weitere Einflussfaktoren, wie die Körperkraft (Kapitel 6.1.3) und die Mikropause (Kapitel 6.1.4), wurden ebenfalls einem Punktwert zugewiesen und werden auf den nächsten Seiten aufgezeigt.

5. Körperkraft:

In Anbetracht der Situation, dass Körperkräfte oberhalb von 15 % MVC langfristig zur Überschreitung der Dauerleistungsgrenze führen [HOL-09], S. 60 bzw. [HOE-07], S. 65, wurde diese Kraftkonzentration dem Punktwert 7 (Verbesserungen notwendig) gleichgesetzt. Für statische Körperkräfte, die über einen längeren Zeitraum vollzogen werden, wird von JONSSON die Einhaltung einer Grenze von 5 % MVC empfohlen [HOE-07], S. 66. Deshalb wurden 5 % MVC einem Punktwert von 3 (Arbeitsplatz beobachten) zugeordnet. Durch diese Definition konnte linear interpoliert werden.

Die erfassten % MVC-Werte wurden arithmetisch gemittelt und ergaben für die Messdaten aus dieser Untersuchung folgende Punktwerte:

	Körperkraft für Unterarm Pronation und Trapezius	
	Probandin (P1)	Probandin 2 (P2)
Papierbalg einlegen	9	5
Filterelement entnehmen	8	5
Filterelement beschneiden	8	5
Vorvlies auflegen	6	7
Filterelement auflegen	7	6
Filterelement verpacken	9	7

Tabelle 10.6: Punktwerttabelle für Körperkräfte

(Quelle: eigene Darstellung)

Die Einzelwerte zur Berechnung aus Tabelle 10.6 können dem Anhang (Tabelle 13.4) entnommen werden.

6. Mikropause:

Grundlage für die Definition der untenstehenden Punktwerttabelle waren Grenzwerte nach [GLI-12]. Mittels dieser Definition konnte eine Punktwertvergabe (vgl. Tabelle 13.6) erfolgen.

↓ Punktwert ↓	Mikropause
0	> 20 %
1	≤ 20 % \wedge > 17,5 %
2	≤ 17,5 % \wedge > 15 %
3	≤ 15 % \wedge > 12 %
4	≤ 12 % \wedge > 10 %
5	9 %
6	8 %
7	7 %
8	6 %
9	< 6 %
Beschreibung	Anteil an Pausenzeiten, die dem Muskel zur Verfügung stehen
Grundlage	IfA

Tabelle 10.7: Punktwerttabelle für die Mikropause

(Quelle: eigene Darstellung)

Eine Mikropause, die einem Pausenanteil von 10 % bis 12 % entsprechen würde, bekäme demnach einen Punktwert von 4. Die Mikropausenzeit der Messungen (Tabelle 13.6) wurde um den dazugehörigen Punktwert aus Tabelle 10.7 erweitert. Eine weitere Spalte in Tabelle 13.6 zeigt den spezifischen Punktwert für Probandin 1 bzw. Probandin 2.

7. Multiplikationsindex für diverse Einflussfaktoren:

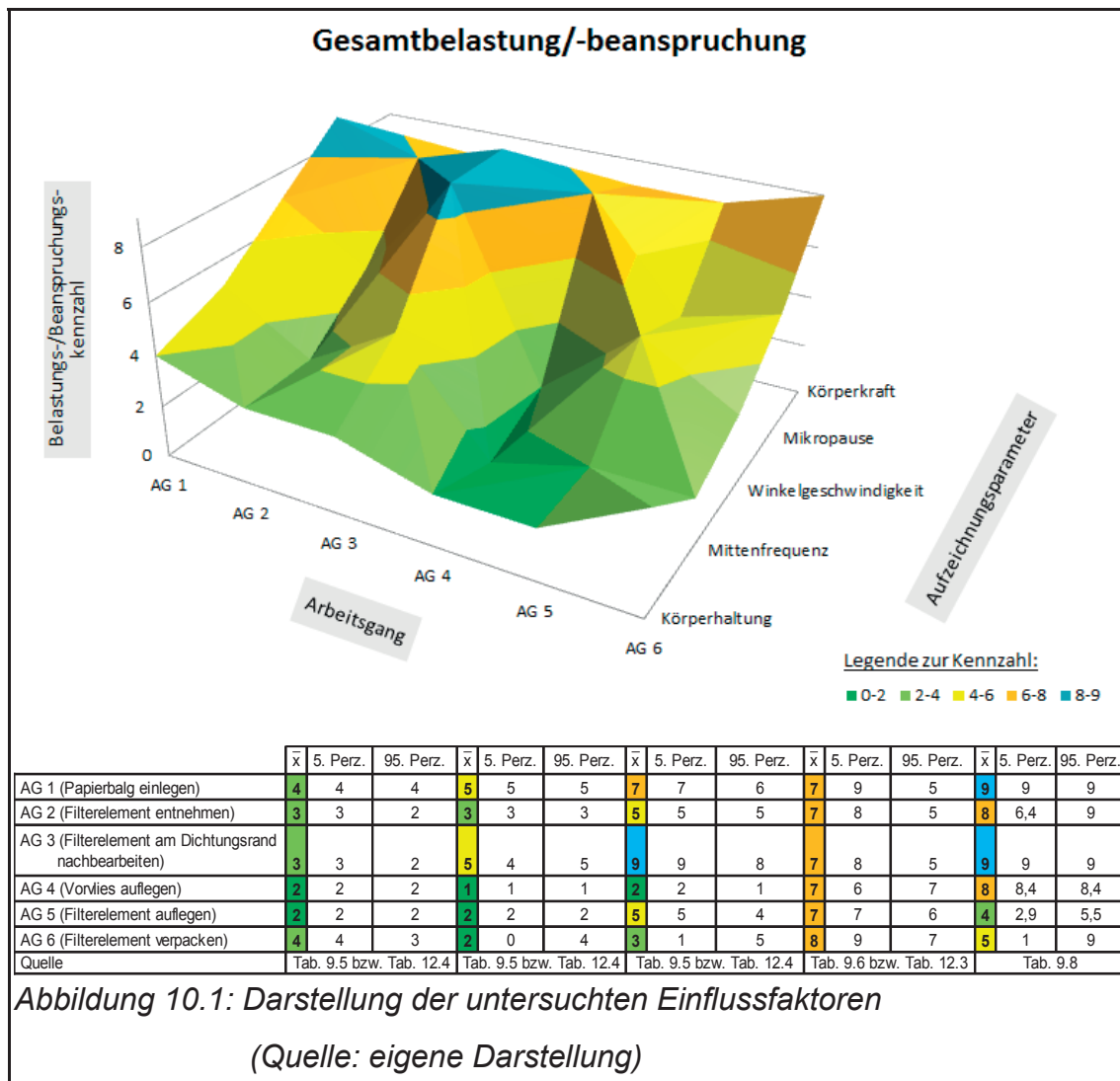
Alle untersuchten Einflussfaktoren wurden zur Gesamtbewertung mit einem spezifischen Faktor gewichtet. Diese Faktoren wurden für den vorliegenden Fall folgendermaßen definiert:

AU_i	=	Arbeitsumgebungsindex	=	0,1
$(F_{GMP})_i$	=	Gesamtkraft- und Mikropausenindex	=	0,1
KH_i	=	Multiplikator für Körperhaltungsindex	=	0,4
WG_i	=	Multiplikator für Winkelgeschwindigkeitsindex	=	0,1
MF_i	=	Multiplikator für Mittenfrequenzindex	=	0,1
GR_i	=	Multiplikator für Greifraumindex	=	0,1

Diese Multiplikationsindexe können von Fall zu Fall geringfügigen Abweichungen unterliegen und sind ggf. an die Situation anzupassen. Die Definition sollte ein erfahrenes Team vornehmen, welches arbeitswissenschaftliche Kenntnisse besitzt/vorweisen kann.

Damit war für jede quantifizierte Einflussgröße ein entsprechender Punktwert verfügbar und letztendlich eine Gesamtdarstellung möglich.

Abbildung 10.1 fasst dieses Ergebnis grafisch zusammen.



Der Aufwand für die Darstellung der untersuchten Einflussfaktoren war sehr umfangreich und zeitintensiv.

Eine Methode zur Zusammenfassung der untersuchten Einflussgrößen mit entsprechender Beurteilung der Gesamtbelastung/-beanspruchung der oberen Extremitäten an Montagetätigkeiten für die Akkordarbeit existiert nach dem Stand der Technik nicht!

Deshalb wurde hierzu ein eigenständiges Verfahren entwickelt. Dieses ist im folgenden Kapitel einsehbar.

10.1 Modellparameter

Das entwickelte Modell wurde entsprechend der fünf Einflussfaktoren parametrisiert:

1. Arbeitsumgebung:

Für die Kennzahldefinition der jeweiligen Faktoren zur Arbeitsumgebung wurde auf existierende, wissenschaftliche Erkenntnisse zurückgegriffen. Die verwendete Norm kann den Darstellungen an entsprechender Stelle entnommen werden. Als Beispiel sei auf die Arbeitsstättenrichtlinie A3.6 (ASR A3.6) für die Definition der Raumtemperatur verwiesen.

Punktwert	Raumtemperatur	Luftbewegung	rel. Luftfeuchte	Wärmestrahlung	Lärm	Beleuchtung
0	$< 17^{\circ}\text{C} \wedge \leq 19^{\circ}\text{C}$	0,030 m/s	$\geq 30\% \wedge \leq 65\%$	$\leq 25 \text{ W/qm}$	$\leq 60 \text{ dB(A)}$	$\leq 1000 \text{ Lux} \wedge > 750 \text{ Lux}$
1	20°C	0,035 m/s	$27\% - 29\% \vee 66\% - 67\%$	$\leq 50 \text{ W/qm} \wedge > 25 \text{ W/qm}$	$< 70 \text{ dB(A)} \wedge > 65 \text{ dB(A)}$	$\leq 750 \text{ Lux} \wedge > 650 \text{ Lux}$
2	17°C	0,040 m/s	$25\% - 26\% \vee 68\% - 70\%$	$\leq 75 \text{ W/qm} \wedge > 50 \text{ W/qm}$	$< 72 \text{ dB(A)} \wedge > 70 \text{ dB(A)}$	$\leq 650 \text{ Lux} \wedge > 625 \text{ Lux}$
3	21°C	0,045 m/s	$22\% - 24\% \vee 71\% - 72\%$	$\leq 100 \text{ W/qm} \wedge > 75 \text{ W/qm}$	$< 75 \text{ dB(A)} \wedge > 72 \text{ dB(A)}$	$\leq 625 \text{ Lux} \wedge > 575 \text{ Lux}$
4	15°C	0,050 m/s	$20\% - 21\% \vee 73\% - 75\%$	$\leq 125 \text{ W/qm} \wedge > 100 \text{ W/qm}$	75 dB(A)	$\leq 575 \text{ Lux} \wedge > 500 \text{ Lux}$
5	22°C	0,055 m/s	$17\% - 19\% \vee 76\% - 80\%$	$\leq 150 \text{ W/qm} \wedge > 125 \text{ W/qm}$	76 dB(A)	$\leq 500 \text{ Lux} \wedge > 400 \text{ Lux}$
6	14°C	0,065 m/s	$15\% - 16\% \vee 81\% - 85\%$	$\leq 180 \text{ W/qm} \wedge > 150 \text{ W/qm}$	77 dB(A)	$\leq 400 \text{ Lux} \wedge > 350 \text{ Lux}$
7	23°C	0,075 m/s	$12\% - 14\% \vee 86\% - 88\%$	$\leq 200 \text{ W/qm} \wedge > 180 \text{ W/qm}$	78 dB(A)	$\leq 350 \text{ Lux} \wedge > 400 \text{ Lux}$
8	13°C	$< 0,1 \text{ m/s} \wedge > 0,075 \text{ m/s}$	$10\% - 13\% \vee 89\% - 90\%$	$\leq 250 \text{ W/qm} \wedge > 200 \text{ W/qm}$	79 dB(A)	$< 300 \text{ Lux} \wedge > 350 \text{ Lux}$
9	$\leq 13^{\circ}\text{C} \vee \geq 23^{\circ}\text{C}$	$\geq 0,100 \text{ m/s}$	$< 10\% \vee > 90\%$	$> 250 \text{ W/qm}$	$\geq 80 \text{ dB(A)}$	$\leq 300 \text{ Lux} \vee \geq 1000 \text{ Lux}$
Grundlage	vgl. ASR A3.6	vgl. RADL	vgl. RADL	vgl. RADL	EG Richtlinie 2003/10/EG	vgl. ASR A3.4 – Montage 22.1

Abbildung 10.2: Ausschnitt der Bewertungsgrundlage für die Arbeitsumgebung
(Quelle: eigene Darstellung)

Für ein fiktives Beispiel werden folgende Annahmen getroffen:

- **Lufttemperatur:** **23° C**
- **Luftbewegung:** **0,04 m/s**

Auf Grundlage dieser Werte hätte die Raumtemperatur einen Punktwert von 7 und die Luftbewegung einen Punktwert von 2 zugewiesen bekommen.

2. Körperhaltung:

Die Modellierung erfolgte nach Tabelle 10.2 unter Berücksichtigung aller Körperregionen aus Tabelle 5.2.

3. Körperkräfte:

Der Punktwert für adjustierte EMG-Werte basiert auf einer linearen Interpolation, die folgendermaßen berechnet wird:

$$f(x) = f_0 + \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) \quad 9.1$$

Um das notwendige %MCV berechnen zu können, ist die Maximalkraft notwendig. Diese wurde mittels einer direkten Greifkraftmessung (Zylindergriff) vollzogen (vgl. Kapitel 5.2.1).

4. Mikropause (MP):

Anhand der Messdaten konnte nachvollzogen werden, dass bei einem Zeitgrad von 100 % die Mikropause im Vergleich zur Zeitgradmessung bei 132 % tendenziell länger ist. Ein Zeitgrad von 100 % wurde deshalb einem Punktwert von 7 (Verbesserungen notwendig, siehe Tabelle 10.1) zugewiesen. Konsequenterweise wurde einem Zeitgrad von 132 % ein Punktwert von 9 (akuter Handlungsbedarf) zugewiesen.

Die Berechnung der Punktwerte für die Mikropause erfolgte analog zur Gleichung 9.1.

Ein Beispiel für einen fiktiven Punktwert bei einem Zeitgrad von 115 % wäre:

$$f(115) = 7 \text{ PW} + \frac{9 \text{ PW} - 7 \text{ PW}}{132 \% - 100 \%} \cdot (115 \% - 100 \%) = 7,94 \text{ PW} \quad 9.2$$

Der Punktwert (PW) würde in diesem fiktiven Szenario deshalb 8 betragen.

5. Winkelgeschwindigkeit:

Die errechneten Funktionen (siehe Tabelle 13.2, Tabelle 13.3 bzw. Tabelle 13.5) wurden mit dem Ist-Zeitgrad verrechnet und durch die Funktion unter Berücksichtigung von Normalarbeit (Zeitgrad: 100 %) dividiert. Das daraus resultierende Ergebnis wurde mit dem definierten Punktwert aus Tabelle 10.3 multipliziert.

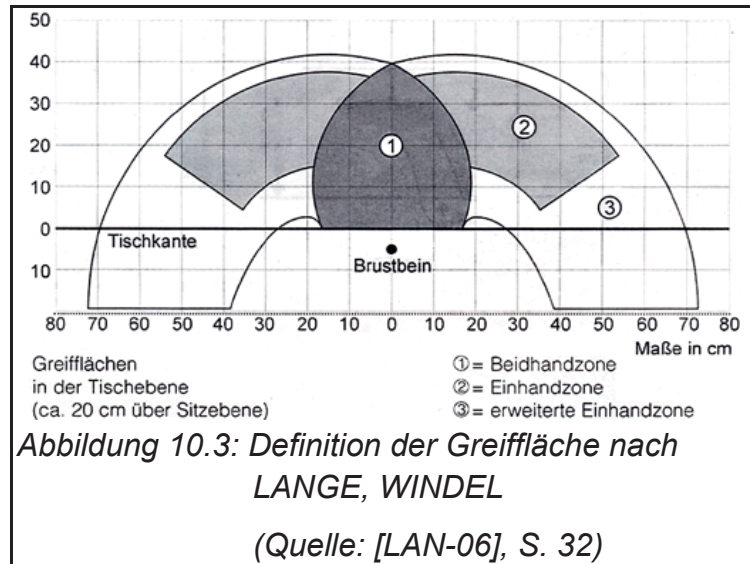
6. Mittenfrequenz:

Die Berechnung der Mittenfrequenz erfolgte auf gleicher Basis wie die Winkelgeschwindigkeit. Die Punktdefinition ist Tabelle 10.3 zu entnehmen.

7. Greifraum:

Ein weiterer Faktor, der den Grad der körperlichen Belastung beeinflusst, ist der Greifraum. Dieser wurde nach bekannten Methoden mit aufgenommen. LANGE

und WINDEL haben hierzu Literatur veröffentlicht. In dieser wird die Greiffläche in verschiedenste Zonen untergliedert [LAN-06], S. 32.



So ist zum Beispiel Zone 1 die sogenannte Beidhandzone, welche am optimalsten angeordnet ist. Weitere Zonen sind die Einhandzone (Zone 2) und die erweiterte Einhandzone (Zone 3). Abbildung 10.3 lässt diese Zonenbereiche erkennen.

↓ Punktwert ↓	Greifraum
0	Zone 1
1	
2	
3	Zone 2
4	
5	
6	Zone 3
7	
8	
9	Zone 4
Grundlage	
	ähnlich LANGE, WINDEL

Abbildung 10.4: Greifraumzuordnung
(Quelle: eigene Darstellung)

Für die Punktwertdefinition wurde der Zonenbereich ergänzt. Alle Bereiche, die außerhalb der Zonen 1, 2 und 3 liegen, wurden

einer weiteren Zone (Zone 4) zugeordnet.

Die Zuweisung der jeweiligen Zone und dem spezifizierten Punktwert kann Abbildung 10.4 entnommen werden.

Mit diesen Definitionen konnte die Berechnung des Modells zur Gesamtbelastung/-beanspruchung der oberen Extremitäten an Montagetätigkeiten für Akkordarbeit erfolgen:

Mit diesen Definitionen konnte die Berechnung des Modells zur Gesamtbelastung/-beanspruchung der oberen Extremitäten an Montagetätigkeiten für Akkordarbeit erfolgen:

$$GBB_{oE} = AU_{gaM} \cdot AU_i + \frac{(KK_{PW} + MP_{PW})}{2} \cdot (KKMP)_i + KH_{aM} \cdot KH_i + \\ WG_{PW} \cdot WG_i + MF_{PW} \cdot MF_i + GR_{PW} \cdot GR_i \quad \mathbf{9.3}$$

GBB_{oE} = Gesamtbelastung/-beanspruchungspunkt看 für obere Extremitäten an Montagetätigkeiten in der Akkordarbeit

1. Berechnung Punktwert zur Arbeitsumgebung:

AU_{gaM} = Gewichtetes arithmetisches Mittel zum Punktwert der Arbeitsumgebung

$$AU_{gaM} = \frac{\sum_{i=1}^n (AU_i)^2}{\sum_{j=1}^n AU_j} \quad \mathbf{9.4}$$

AU_i = Arbeitsumgebungsindex

2. Berechnung des Punktwertes zur Körperkraft (Unterarm und Kapuzenmuskel):

KK_{PW} = Gesamtpunkt看 für die Körperkraft

$$= \frac{PW_{UA} + PW_{KM}}{2} \quad \mathbf{9.5}$$

PW_{UA} = Punkt看 für den Unterarm (gemäß linearer Interpolation/Gleichung 9.1)

$$= 7 \cdot PW + \frac{9 \cdot PW - 7 \cdot PW}{20 \% MVC - 15 \% MVC} \cdot (UA_{adj.EMG} - 15 \% MVC) \quad \mathbf{9.6}$$

$UA_{adj.EMG}$ = Adjustiertes EMG des Unterarmes [% MVC]

$$= F_{adj.UA} \cdot \frac{100 \% MVC}{F_{Greif max}} \quad \mathbf{9.7}$$

$F_{adj.UA}$ = Adjustierte Kraft des Unterarmes [N]

$$F_{adj.UA} = 0,1758 \cdot \text{Zeitgrad} [\%] - 0,323875 \text{ (vgl. Gleichung 6.1)} \quad \mathbf{9.8}$$

$F_{Greif max}$ = maximale Greifkraft [N]

PW_{KM} = Punktwert für den Kapuzenmuskel (gemäß lineare Interpolation/
Gleichung 9.1)

$$= 7 PW + \frac{9 PW - 7 PW}{20 \% MCV - 15 \% MVC} \cdot (KM_{adj.EMG} - 15 \% MVC) \quad 9.9$$

$KM_{adj.EMG}$ = Adjustiertes EMG des Kapuzenmuskel [% MVC]

$$= F_{adj.KM} \cdot \frac{100 \% MVC}{F_{KM}} \quad 9.10$$

$F_{adj.KM}$ = Adjustierte Kraft des Kapuzenmuskels [N]

$$F_{adj.KM} = 0,039 \cdot \text{Zeitgrad} [\%] + 11,693 \quad (\text{vgl. Gleichung 6.2}) \quad 9.11$$

F_{KM} = Kraft [N] vom Kapuzenmuskel (auch Musculus Trapezius genannt)
gemäß Tabelle 10.8:

Altersgruppen	Kapuzenmuskel		
	Frauen [N]	Männer [N]	n
bis 29 Jahre	224,0	349,0	120
30 Jahre bis 39 Jahre	210,6	328,1	120
40 Jahre bis 49 Jahre	197,9	308,4	120
50 Jahre bis 59 Jahre	186,1	289,9	120
60 Jahre bis 69 Jahre	179,2	279,2	120
70 Jahre bis 79 Jahre	134,4	209,4	120
80 Jahre und älter	112,0	174,5	120

*Tabelle 10.8: Kräfte des Kapuzenmuskels nach
HOLLMANN, STRÜDER
(Quelle: vgl. [HOL-09], S. 182-185)*

3. Berechnung des Punktwertes für die Mikropause:

$$MP_{PW} = \frac{MP_x + MP_{Io}}{2} \quad 9.12$$

$MP_{\bar{x}}$ = Arithmetisches Mittel der Punktwerte zur Mikropause

$$= \sum_{i=1}^n \frac{MP_i}{n} = \frac{MP_1}{n} + \frac{MP_{i+1}}{n} + \dots + \frac{MP_n}{n} \quad 9.13$$

MP_{Io} = Lineare Optimierung der Mikropause (gemäß Gleichung 9.1)

$$= 5 PW + \frac{9 PW - 5 PW}{132 \% - 100 \%} \cdot (\text{Zeitgrad} [\%] - 100 \%) \quad 9.14$$

$(KKMP)_i$ = Körperkraft- und Mikropausenindex

4. Berechnung Punktwert für die Körperhaltung:

KH_{aM} = Arithmetisches Mittel der Punktwerte zur Körperhaltung

$$= \sum_{i=1}^n \frac{KH_i}{n} = \frac{KH_1}{n} + \frac{KH_{i+1}}{n} + \dots + \frac{KH_n}{n} \quad 9.15$$

KH_i = Multiplikator für Körperhaltungsindex

5. Berechnung des Punktwertes zur Winkelgeschwindigkeit:

WG_{PW} = Gesamtwertpunkt für die Winkelgeschwindigkeit

$$= \frac{WG_E + WG_U + WG_H}{3} = \quad 9.16$$

$$WG_E = \frac{\frac{0,2227 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} - 8,823}{100 \%}}{\frac{0,2227 \cdot 100\% - 8,823}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{WG_{E_i}}{n} \quad 9.17$$

$$WG_U = \frac{\frac{0,2128 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} - 14,29}{100 \%}}{\frac{0,2128 \cdot 100 \% - 14,29}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{WG_{U_i}}{n} \quad 9.18$$

$$WG_H = \frac{\frac{0,1466 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} - 1,577}{100 \%}}{\frac{0,1466 \cdot 100 \% - 1,577}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{WG_{H_i}}{n} \quad 9.19$$

WG_i = Multiplikator für Winkelgeschwindigkeitsindex

6. Berechnung Punktwert Mittenfrequenz:

MF_{PW} = Gesamtwertpunkt der Mittenfrequenz

$$= \frac{MF_H + MF_E}{2} \quad 9.20$$

$$MF_H = \frac{\frac{0,016 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} + 0,226}{100 \%}}{\frac{0,016 \cdot 100 \% + 0,226}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{MF_{H_i}}{n} \quad 9.21$$

$$MF_E = \frac{\frac{0,0024 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} + 0,086}{100 \%}}{\frac{0,0024 \cdot 100 \% + 0,086}{100 \%}} \quad 9.22$$

MF_i = Multiplikator für Mittenfrequenzindex

7. Berechnung des Punktwertes für den Greifraum:

$$\begin{aligned} GR_{PW} &= \text{Gesamtpunktwert Greifraum} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{GR_i}{n} = \frac{GR_1}{n} + \frac{GR_{i+1}}{n} + \dots + \frac{GR_n}{n} \end{aligned} \quad 9.23$$

GR_i = Multiplikator für Greifraumindex

Ein Berechnungsbeispiel hierzu kann Anlage 13.9 entnommen werden, welches das Modell verifiziert.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Berechnungen haben den Aufwand für die Berechnung einer Gesamtbelastung/-beanspruchung angedeutet. Da die Komplexität für zukünftige Analysen einen hohen zeitlichen Aufwand zur Folge hätte, wurde eine eigenständige Software für diesen Sachverhalt programmiert. Dadurch soll ein arbeitswissenschaftlich nützlicher Beitrag zur Ermittlung von Gesamtbelastungen bzw. Gesamtbeanspruchungen mittels Softwarelösung angeboten werden.

10.2 Softwaregestaltung

Bei der Modellierung des Programms wurde der Aspekt der Software-Ergonomie berücksichtigt. So wurde zum Beispiel der Aufbau der Tabellenblätter gemäß der empfohlenen Richtlinien (vgl. Abbildung 2.5) realisiert. Ein Programmeinblick mit Kurzbeschreibung anhand eines Beispiels ist Anlage 13.9 zu entnehmen.

Die Programmierung erfolgte mit einer integrierten Entwicklungsoberfläche, die RAD-Fähigkeiten (**R**apid **A**pplication **D**evelopment) besitzt und eine grafische Programmierung zulässt. Von Vorteil hierbei im Vergleich zu anderen Konzepten zur Softwareentwicklung sind die flexiblen Entwicklungsmöglichkeiten von RAD.

Als Programmiersprache kam eine Open-Source mit dem Namen Lazarus zum Einsatz, da diese plattformunabhängig (sowohl bei Windows, Linux, MacOS X usw.) ist [CAN-11], S. 15.

Der Aufbau wurde parallel zur manuellen Berechnung in Anlage 13.9 dargestellt und kann bei Bedarf an entsprechender Stelle entnommen werden.

11 Zusammenfassung und Ausblick

Zu Beginn der Arbeit wurde anhand von sechs definierten Akkordarbeitsplätzen das Arbeitssystem erläutert. Die Systemelemente wurden mit konkreten Fallbeispielen belegt und konkretisiert. Ein weiterer Bestandteil dieses Kapitels war das Zeitstudienverfahren. Hierzu wurden zwei Konzepte dargestellt. Zum einen das Bedaux-System und das bei MANN+HUMMEL praktizierte REFA-Verfahren. Vor- bzw. Nachteile zur jeweiligen Methodik kennzeichneten das Kapitelende.

Eine Recherche zu den jeweiligen Themengebieten zeigte den gegenwärtigen Forschungsstand auf. So wurden zum Beispiel grundlegende Begriffe, wie die Belastung beziehungsweise die Beanspruchung, reflektiert. Aufgrund der hohen volkswirtschaftlichen Bedeutung kam auch die Problematik der Schichtsysteme zum Vorschein. Hierzu wurden diverse Theorien vorgestellt und kritisch betrachtet.

Ein inhaltlich großer Anteil der vorliegenden Arbeit wurde den gängigsten Beurteilungs- und Bewertungsmethoden gewährt. Diese Forschungsarbeit soll auch als Nachschlagewerk für den Personenkreis dienen, der sich mit verschiedenen Varianten von Bewertungsmethoden beschäftigen will und eine arbeitswissenschaftlich optimale Methode für seinen Fall sucht.

Im darauffolgende Kapitel wurden Hypothesen aufgestellt, die sich aus den zuvor beschriebenen Themen ergaben. Zur Überprüfung dieser Hypothesen kam ein Versuchsplan unter Berücksichtigung von statistischen und mathematischen Aspekten zum Einsatz. Durch die Nutzung dieses Instrumentes war eine effiziente Auswertung der Informationen mit einem vertretbaren Aufwand für die Erhebung möglich. Neben der Methodik zur Versuchsdurchführung wurde auch die

genutzte Bewertungsmethode definiert. Anhand der zuvor vorgestellten Methoden war eine Auswahl der für diesen Fall aus arbeitswissenschaftlicher Sicht geeigneten Variante möglich. Hierfür kam das CUELA-Verfahren zum Einsatz. Neben diversen Einflussgrößen, wie zum Beispiel der Körperhaltung während der Arbeitsausführung oder der Körperkraft, wurden auch Veränderungen durch die Anthropometrie, den Zeitgrad oder die unterschiedlichen Akkordarbeitsplätze berücksichtigt. Bezüglich des Zeitgrades war ein eindeutiger Zusammenhang durch eine physiologische Belastung-/Beanspruchungsveränderung zu erkennen. Der Beleg für gesundheitliche und soziale Einschränkungen einer Dauernachtschicht wurde erbracht. Ein Anstieg der Fehlerentwicklungsquote während der Nachtschicht war allerdings nicht nachvollziehbar. Die Anthropometrie hat ebenfalls einen Einfluss auf diverse physikalische Größen, wie die Körperhaltung, die Körperkraft, die Mikropause oder die Mittenfrequenz.

Ein Methodenvergleich zwischen dem CUELA-Verfahren und der Leitmerkmal-methode zur Erfassung von kritischen Vorgängen bei manuellen Arbeitsprozessen zeigte signifikante Unterschiede in der Beurteilung der Arbeitsvorgänge auf. Das CUELA-Verfahren ist zeitaufwendiger, bietet jedoch verlässlichere Daten. Die Leitmerkmal-methode dagegen ist zu sehr von Subjektivität geprägt. Ein Interview mit den betroffenen Mitarbeitern bestätigte die Tendenz, dass der Mitarbeiter das subjektive Empfinden für Beschwerden mit zunehmender Beschäftigungsdauer verliert. Trotz alledem entsprachen die subjektiv wahrgenommenen Beschwerderegionen in guter Näherung den belastungs-/beanspruchungsintensivsten Körperregionen der CUELA-Erhebung.

Als Ergebnis aus der Erhebung konnten diverse Handlungsempfehlungen definiert werden. Eine Umsetzung dieser Maßnahmen führt für den betroffenen Personenkreis zur physiologischen Belastungs- bzw. Beanspruchungsreduktion. Diese wird mittelfristig den Personalausfall im Unternehmen reduzieren.

Bedingt dadurch, dass es noch kein Verfahren zur Gesamtbeurteilung von Belastungen/Beanspruchungen der oberen Extremitäten bei Montagetätigkeiten für die Akkordarbeit gibt, wurde ein Modell entwickelt. Dieses berücksichtigt Belastungs-

faktoren aus dem Arbeitssystem und wurde auf Basis von Punktwerten konstruiert. Da die Bewertung dieses Modells sehr zeitintensiv und aufwendig war, wurde eine Software programmiert, die eine Handhabung unter ergonomischen Bedingungen ermöglichte. Das Programm wurde auf Basis der Messergebnisse kalibriert und über mehrere Erhebungsvergleiche verifiziert.

Aber wie wird die Entwicklung weitergehen?

Durch die zunehmende Industrialisierung in den letzten Jahrzehnten gerät die Arbeitswissenschaft immer mehr in den Fokus. Die Nutzung von arbeitswissenschaftlichem Potential wird in den nächsten Jahren weiterhin an Bedeutung gewinnen. Das Problem des steigenden Krankenstandes, die Demografie und auch die Erhöhung des Rentenalters werden das Thema zusätzlich in den Fokus stellen. Auch Führungskräfte werden zukünftig ihre Kompetenzen hinsichtlich arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse erweitern müssen. Der Begriff der prospektiven Ergonomie wird sich als Standard etablieren und somit den Anteil an korrekativer Ergonomie reduzieren. Neben betriebswirtschaftlicher Kennzahlen, wie der Produktivität oder dem Zeitgrad, werden auch arbeitswissenschaftliche Kennzahlen, wie der maximale Belastungsgrad bedeutsamer werden.

Die Schwierigkeit wird zukünftig darin bestehen, das Gleichgewicht zwischen Produktivität und Belastungs- bzw. Beanspruchungsintensität zu finden.

Die Entwicklung von Simulationsprogrammen, die eine Gesamtbelastung/-beanspruchung prognostizieren, werden zukünftig eine wichtige Rolle einnehmen. Vorstellbar ist, dass simultan zur 3D-Konstruktion eine Belastungs-/Beanspruchungsprognose mit den ergonomisch optimalen Beurteilungs- und Bewertungsmethoden vollzogen wird. Intelligente Softwarebausteine, die dem Bediener ähnliche Empfehlungen geben, wie es in den Grundzügen dieses Programms bereits vollzogen wurde sind vorstellbar.

12 Literaturverzeichnis

- AUB-09** AUBECK H.J.: *Wirtschaftsmathematik für Schule und Ausbildung*. BoD – Books on Demand, Norderstedt, 2009. ISBN: 978-3833482717
- AXE-89** AXELSON G. + RYLANDER R. + MOLIN I.: *Outcome of pregnancy in relation to irregular and inconvenient work schedules*. British Journal of Industrial Medicine. 1989
- BAMS-11** BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS): *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2010. Unfallverhütungsbericht Arbeit*. Dortmund/Berlin/Dresden 2012. Online im Internet: http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/pdf/Suga-2010-barrierefrei.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [Stand: 05.06.2014] ISBN: 978-3-88261-140-3
- BAR-08** BARNES-FARRELL J. + DAVIES-SCHRILS K. + MCGONAGLE A. + WALSH B. + MILIA L. D. + FISCHER F.M. + HOBBS B.B. + KALITERNA L. + TEPASB D.: *What aspects of shiftwork influence off-shift well-being of healthcare workers?* US National Library of Medicine National Institutes of Health. 2008. Online im Internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2504492/> [Stand: 05.06.2014] ISSN: 0003-6870
- BAU-12-1** BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAUA): *Leitmerkalmethode zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 2012. Online im Internet: http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Manuelle-Arbeit-2.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [Stand: 05.06.2014]
- BauA-12-2** BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAUA): *Arbeitsbogen: Leitmerkalmethode zur Erfassung von Belastungen bei manuellen Arbeitsprozessen*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 2010. Online im Internet: http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/pdf/LMM-Manuelle-Arbeit-2.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [Stand: 05.06.2014]
- BAuA-12-3** BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAUA): *Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) 3.6*. 2012. Online im Internet: http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A3-6.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [Stand: 05.06.2014]
-

- BAU-88** BAUMGARTNER E.: *Endogene Rhythmen - Nacht- und Schichtarbeit*. Wien: Maudrich Verlag. 1988. ISBN: 3-85175-482-4
- BEE-00** BEERMANN B.: *Bilanzierung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse zur Nacht- und Schichtarbeit*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 2000
- BEE-93** BEERMANN B.: *Frauen und Männer im Wechselschichtdienst: Belastung, Beanspruchung und Beanspruchungsfolgen bei Nacht- und Schichtarbeit*. Peter Lang Publishing, Incorporated, 1993. ISBN: 3631458193
- BEL-10** BELLMER J.: *Das Luftfeuchte-Buch*. CrossMediaProduktion Detmold. 2010. ISBN: 978-3-00-031374-5
- BGI-09** DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG (DGUV): *Abschnitt 2 BGI/GUV-I 504-46 – Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). 2009. Online im Internet: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/library/document/5015023> [Stand: 05.06.2014]
- BMF-10** BUNDESMINISTERIUM FÜR FAMILIE, SENIOREN; FRAUEN UND JUGEND: *Fünfter Bericht zur Lage der älteren Generation in der Bundesrepublik Deutschland*. Berlin, im August 2005. Online im Internet: <http://www.bmfsfj.de/RedaktionBMFSFJ/Abteilung3/Pdf-Anlagen/fuenfter-altenbericht,property=pdf,bereich=,rwb=true.pdf> [Stand: 05.06.2014]
- BMG-12** BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT: *Daten des Gesundheitswesens 2012*. Bundesministerium für Gesundheit. Online im Internet: http://www.bmg.bund.de/fileadmin/dateien/Publikationen/Gesundheit/Broschueren/Daten_des_Gesundheitswesens_2012.pdf [Stand: 05.06.2014]
- BON-95** BONGWALD O. + LUTTMANN A. + LAURIG W.: *Leitfaden für die Beurteilung von Hebe- und Tragetätigkeiten*. Druckerei Plump GB, Rheinbreitbach. 1995. ISBN: 3-88383-365-7
- BRO-86** BROESSLER D.: *Schichtarbeit und Gesundheit*. Ernst Schwarcz, 1090 Wien. 1986. ISBN: 3-85220-009-1
- CAF-99** CAFFIER G. + STEINBERG U. + LIEBERS F.: *Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen*. Dortmund/Berlin. 1999. ISBN: 3-89701-368-1
- CAN-11** VAN CANNEYT M. + GÄRTNER M. + HEINING S. + MONTEIRO DE CARVALHO F. + OUEDRAOGO I.: *Lazarus*. Computer & Literatur Verlag GmbH. 2011. ISBN 978-3-936546-63-7
-

- CON-97** CONRAD T.: *Preisbildung mittels der Conjoint-Analyse und eines Simulationsmodells am Beispiel eines Premiumanbieters der Automobilindustrie*. Tübingen, Dissertation 1997.
- COR-76** CORLETT E. N. + BISHOP R.P.: *A Technique for Assessing Postural Discomfort*. Ergonomics Vol. 19. 1976. ISBN 0014-0139
- COS-03** COSTA G.: *Factors influencing health of workers and tolerance to shift work. Theoretical issues in ergonomics science*. London. 2003. ISBN: 1463-922-X
- DEI-11** DEISER O. + LASSER C. + VOGT E. + WERNER D.: *12 x 12 Schlüsselkonzepte zur Mathematik*. Springer DE, 2011. ISBN: 9783827422972
- DER-04** DERTINGER R.: *Gefahrstoffe*. Universum Verlag GmbH & Co KG., Wiesbaden. 2004. ISBN 3-89869-021-0
- DIN-06** DIN Norm: *DIN 5035-3*. Beuth Verlag GmbH. 2006. Online im Internet: <http://www.beuth.de/de/norm/din-5035-3/88503242?SearchID=685891199> [Stand: 07.06.2014]
- DIN-07** DIN Norm: *DIN EN 1005-5:2007-05*. Beuth Verlag GmbH. 2007. Online im Internet: <http://www.beuth.de/de/norm/din-en-1005-5/92411496> [Stand: 07.06.2014]
- DIN-11** DIN Norm: *DIN 5034-1:2011-07*. LANDESAMT FÜR GESUNDHEIT UND SOZIALES MECKLENBURG - VORPOMMERN. 2011. Online im Internet: <http://www.beuth.de/de/norm/din-5034-1/141642928> [Stand: 07.06.2014]
- DOC-12** DOCKRELL S. + O'GRADY E. + BENNETT K. + MULLARKEY C. + MC CONELL R. + RUDDY R. + TWOMEY S. + FLANNERY C.: *An investigation of the reliability of Rappid Upper Limb Assessment (RULA) as a method of assessment of children's computing posture*. *Applied Ergonomics*, Heft 43. 2012. ISBN/ISSN: 0003-6870
- EIC-98** EICKENHORST H.: *Einführung in die Klimatechnik: Erläuterungen zum h-x-Diagramm*. Vulkan-Verlag GmbH, 1998. ISBN: 3-80272-371-6
- ELL-05** ELLEGAST R.: *Fachgespräch Ergonomie 2004. BGIA Report 4/2005*. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). 2005. ISBN: 3-88383-687-7
- ELL-06** ELLEGAST R.: *Einsatz des Messsystems CUELA zur Erfassung und Bewertung physischer Arbeitsbelastungen*. BGIA, Sankt Augustin. 2006. Online im Internet: <http://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/ergonomie/pdf/cuela.pdf> [Stand: 07.06.2014]
-

- FÄH-10** FÄHNRIK K.-P.: *Softwareergonomie*. Universität Leipzig. 2010. Online im Internet: http://bis.informatik.uni-leipzig.de/de/Lehre/0910/WS/LV/SWT/files?get=2009w_swt_v_10.pdf [Stand: 23.06.2014]
- FIE-34** FIEGE H.: *Das Bedaux -System, ein lohnpolitisches Arbeitsverfahren zur Bestgestaltung des Produktionsprozesses*. Druck von Frommhold & Wendler, Leipzig. 1934.
- GfA-10** GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFT (GFA): *Neue Arbeits-und Lebenswelten gestalten: Bericht zum 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 24. - 26. März 2010*. GfA-Press, Dortmund. 2010. ISBN: 978-3-936804-08-9
- GfA-12** GESELLSCHAFT FÜR ARBEITSWISSENSCHAFT (GFA): *Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme - Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit: Bericht zum 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 22. bis 24. Februar 2012*. GfA-Press, Kassel. 2012. ISBN: 978-3-936804-12-6
- GLI-12** GLITSCH U. + HOEHNE-HÜCKSTÄDT U. + ELLEGAST R.: *Kombinierte Beurteilung physischer Belastungen in manuellen Fertigungsprozessen*. Institut für Arbeitsschutz der DGUV-IFA. 2012. Online im Internet: http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2012_031.pdf [Stand: 07.06.2014]
- GRA-91** GRANDJEAN E.: *Physiologische Arbeitsgestaltung*. Ott Verlag Thun. 1991. ISBN: 3-609-64460-5
- GUD-08** GUDEHUS T.: *Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing*. Unidruckerei der Universität Kassel. 2008. ISBN: 978-3-89958-650-3. Online im Internet: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-650-3.volltext.frei.pdf> [Stand: 07.06.2014]
- HAN-09** HANNSON G.: Physical workload in various types of work. Part 1. Wrist and forearm. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39. 2009.
- HAR-10** HARMS I.: *InfoWissWiki: ISO 9241-11*. Universität des Saarlandes. 2010. Online im Internet: http://wiki.infowiss.net/ISO_9241-11
- HAR-13** HARTMANN B. + SPALLEK M. + ELLEGAST R.: *Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen*. 2013. *ecommed Medizin*. ISBN: 978-3-609-16459-5
- HAU-11** HAUS E. + ENGST F.: *Schichtarbeit und zirkadianer Rhythmus*. DGUV Forum 4/11. 2011. Online im Internet: http://www.dguv-forum.de/files/594/11-36-022_DGUV_Forum_4-2011.pdf [Stand: 07.06.2014]
-

- HEC-01** HECKTOR K.: *ErgonLoad: Ein rechnerunterstütztes Analysesystem zur Simulation von Arbeitsabläufen unter der Berücksichtigung von ergonomischen und physiologischen Kennwerten einschließlich der Prognose von Erholzeiten*. VDI Verlag GmbH Düsseldorf. 2001. ISBN: 3-18-321517-9
- HEC-90** HECK H.: *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Hofmann-Verlag Schorndorf. 1990. ISBN: 3-7780-8081-4
- HER-09** HERRMANN T.: *Schaffung von Arbeitsplätzen durch Leiharbeit?* Verlag Dr. Kovač. 2009. ISBN: 1435-6848
- HERC-09** HERCZEG M.: *Software-Ergonomie*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH. 2009. ISBN: 978-3-486-58725-8
- HET-93** HETTINGER TH. + WOBBE G.: *Kompendium der Arbeitswissenschaft*. Friedrich Kiehl Verlag GmbH, Ludwigshafen (Rhein). 1993. ISBN: 3-470-45401-9
- HET-70** HETTINGER TH.: *Angewandte Ergonomie*. Bartmann, 1970.
- HOE-07** HOEHNE-HÜCKSTÄDT U. + HERDA CH. + ELLEGAST R. + HERMANN I. + HAMBURGER R. + DITCHEN D.: *Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremitäten und berufliche Tätigkeit. BGIA Report 2/2007*. Hrsg. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin. 2007. ISBN: 978-3-88383-722-9. Online im Internet: http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/rep/pdf/rep07_biar0207/rep2_07.pdf [Stand: 07.06.2014]
- HOE-10** HOEHNE-HÜCKSTÄDT U. + KAULBARS U. + RAFFLER N. + ELLEGAST R.: *Gefährdungsbeurteilung bei kombiniertem Einfluss von Hand-Arm-Vibrationen und ungünstigen Haltungen von Bewegungen*. Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA), Sankt Augustin. 2010. Online im Internet: http://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2010/2010_humanschwingungen/2010_084.pdf [Stand: 07.06.2014]
- HOL-09** HOLLMANN W. + STRÜDER H. K.: *Sportmedizin*. Schattauer Stuttgart New York. 2009. ISBN: 978-3-7945-2546-1
- HVB-04** HVBG: *Gefahrstoffe (BGI 597-5)*. Universum Verlag GmbH & Co. KG, Wiesbaden. 2004.
- IAV-05** IAV: *DoE – Design of Experiments*. Verlag moderne Industrie. 2005. ISBN: 3-937889-10-8
- ifA-12** Institut für Arbeitsschutz (IFA). Daten aus den durchgeführten Arbeitsplatzmessungen vom August 2012.
- ILM-02** ILMARINEN J. + TEMPEL J.: *Arbeitsfähigkeit 2010*. VSA-Verlag Hamburg. 2002. ISBN: 3-87975-840-9
-

- JAC-08** JACOBS K.: *Ergonomics for Therapists (Third Edition)*. St. Louis, Missouri. Elsevier Mosby. 2008. ISBN: 978-0-323-04853-8
- JUE-04** JÜRGENS H.W.: *Erhebung anthropometrischer Maße zur Aktualisierung der DIN 33 402 – Teil 2*. Dortmund/Berlin/Dresden 2004. ISBN: 3-86509-189-X. Online im Internet: <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/698984/publicationFile/46852/Fb1023.pdf> [Stand: 07.06.2014]
- JUN-11** JUNG H.: *Personalwirtschaft*. Oldenbourg Verlag. 2011. ISBN: 978-3-486-59665-6
- KIE-05** KIEPSCH H.-J. + DECKER CH. + HARLFINGER-WOITZIG G.: *Mensch und Arbeitsplatz*. BGI 523. 2005. Online im Internet: http://www.gesundheitimbetrieb.de/fileadmin/upload/downloads/BGI_523_Mensch_und_Arbeitsplatz.pdf [Stand: 07.06.2014]
- KIL-94-1** KILBOM A.: *Repetitive work of the upper extremity: Part I – Guidelines for the practitioner*. Amsterdam. 1994. ISBN: 0619-8141
- KLU-08** KLUßMANN A. *Methoden zur Ermittlung und Beurteilung von arbeitsbedingten Beschwerden und Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems sowie Präventionskonzepte*. 45. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 01.07.2008 in Wuppertal. Institut ASER e.V. 2008. Online im Internet: http://suqr.uni-wuppertal.de/fileadmin/Fachgebiete/SiTe/LuFG_Sicherheitsrecht/Kolloquium_Download/Vortrag_Klussmann_01-07-08.pdf [Stand: 07.06.2014]
- KOMM-07** FERCH R.: *Simulation der Zukunft*. REFR / Online-Redaktion serviceseiten50plus. 2007. Online im Internet: <http://www.serviceseiten50plus.de/jobs-50plus/arbeitsmarkt/langseite-arbeitsmarkt/article/bmw-testet-arbeit-mit-aelterer-belegschaft/> [Stand: 07.06.2014] [Stand: 07.06.2014]
- KON-05** KONRAD P.: *EMG-Fibel . Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologicalische Elektromyographie*. Noraxon INC. USA. 2005. Online im Internet: [http://dtserv3.compsy.uni-jena.de/C12578E6004010BD.nsf/0/9827A4F99496A597C125792E005EF762/\\$FILE/EMG-FIBEL.pdf](http://dtserv3.compsy.uni-jena.de/C12578E6004010BD.nsf/0/9827A4F99496A597C125792E005EF762/$FILE/EMG-FIBEL.pdf) [Stand: 07.06.2014]
- KRA-12** KRÄMER K. + NOLTING H.-D.: *DAK Gesundheitsreport 2012: Wie gesund sind junge Arbeitnehmer?* medhochzwei Verlag. 2011. ISBN: 978-386-216-0525.
- KUC-01** KUCHLING H.: *Taschenbuch der Physik*. Fachbuchverlag Leipzig. 2001. ISBN: 3-446-21760-6
- KUN-77** KUNZE H.: *Bedaux-Verfahren. Der neue Weg Steigerung der Produktivität*. Löhr & Partner GmbH Verlag. 1977. ISBN: 3-9800164-0-4
-

- KUO-87** KUORNIKA I. + JONSSON B. + KILBOM A. + VINTERBERG H. + BIERING-SORENSEN F. + ANDERSSON G. + JORGENSEN K.: *Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms*. Applied Ergonomics. Volume 18, Issue 3. 1987.
- KUR-10** KURTZ P.: *Lehrunterlagen der TU Ilmenau „Ergonomie: Gestaltung der Arbeitsumgebung - Kapitel 5.2: Lärm“*. TU Ilmenau. 2010.
- LAN-06** LANGE W. + WINDEL A.: *Kleine Ergonomische Datensammlung*. TÜV Media GmbH, Köln. ISBN: 3-8249-0995-2
- LAN-14** LANG K. H. : Rückenkompass. Online im Internet: http://www.rueckenkompass.de/download_files/doc/Fragen-Nordischer.pdf [Stand: 07.06.2014]
- LAU-09** LAUBE W.: *Sensomotorisches System*. Georg Thieme Verlag. Stuttgart New York. 2009. ISBN: 978-3-13-148371-3
- LEU-10** LEU-SEMENESCU S. + ARNULF I. + DECAIX C. + MOUSSA F. + CLOT F. + BONIOL C. + TOUITOU Y. + LEVY R. + VIDAILHET M. + ROZE E.: *Sleep and rhythm consequences of a genetically induced loss of serotonin*. US National Library of Medicine National Institutes of Health. 2010. Online im Internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20337188> [Stand: 07.06.2014]
- LEV-12** LEVITT T.: *Marketing-Kurzsichtigkeit*. Harvard Business manager Edition 2/2012.
- LUC-98** LUCZAK H.: *Arbeitswissenschaft*. Springer DE, 1998. ISBN: 978-354-059-1382
- LOU-92** LOUHEVAARA V. + SUURNÄKKI T.: *OWAS a method for the evaluation of postural load during work*. Institute of Occupational Health, Centre for Occupational Safety. Helsinki Finland. 1992.
- MEI-11** MEISTER U. + MEISTER H.: *Taylorismus-Renaissance zur falschen Zeit?* Hochsch., Fachbereich Wirtschaftswiss., 2011. ISBN: 1436-2716
- MH-11** MANN+HUMMEL: *Prognose Krankenstand im Jahr 2020*. MANN+HUMMEL. 2011.
- MOR-04** MORENO C. + LOUZADA F.: *What happens to the body when one works at night?* Cad. Saúde Pública Vol. 20 No.6 Rio de Janeiro. 2004. ISBN: 0102-311X. Online im Internet: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2004000600034&script=sci_arttext [Stand: 07.06.2014]
- MUE-42** MÜLLER E.A.: *Die Pulszahl als Kennzeichen für Stoffumtausch und Ermüdbarkeit des arbeitenden Muskels*. Arbeitspsychologie 12. 1942
-

- NEB-07** NEBL TH.: *Produktionswirtschaft*. Oldenbourg Verlag. 2007.
ISBN: 3-486-584-938
- OPP-06** OPPOLZER A.: *Menschengerechte Gestaltung der Arbeit durch Erholzeiten. Studie im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung* Hamburg, April 2006. ISBN: 978-3-638-73673-2
- ORT-06** ORTH A.: *Modellgestützte Versuchsplanung und Optimierung*. Unesoft GmbH. 2006.
- PAP-01** PAPULA L.: *Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Band 3. *Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH*. 2001.
ISBN: 3-528-34937-9
- POK-99** POKORSKI J. + ISKRA-GOLEC I. + CZEKAJ A.M. + NOWOROL C.: *Menstrual rhythm and shiftwork interference – A subjective retrospective study*. 1999
- POP-03** POPOV K.: *KAMIN. Katalog technischer Schwingungsschutzmaßnahmen* Wirtschaftsverlag NW. 2003
ISBN: 3-89701-952-3
- REF-08** REFA Verband: *REFA - Tradition mit Perspektive*. REFA Verband. 2008.
- REF-11** REFA VERBAND: *REFA-Lexikon: Industrial Engineering und Arbeitsorganisation*. Carl Hanser Verlag, München. 2011.
ISBN: 978-3-446-42821-8
- REF-84** REFA VERBAND: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums/Teil 1 Grundlagen*. Carl Hanser Verlag, München. 1984.
- REF-85-1** REFA VERBAND: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums/Teil 3 Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung*. Carl Hanser Verlag, München. 1985. ISBN: 3-446-14236-3
- REF-85-2** REFA VERBAND: *Methodenlehre des Arbeitsstudiums Teil 5 Entgeltdifferenzierung*. Carl Hanser Verlag, München. 1985.
ISBN: 3-466-14239-8
- RIC-89** RICHTER G.: *Psychische Belastung und Beanspruchung*. Dortmund/Berlin. 1989. ISBN: 3-89701-167-0
- ROE-12** RÖßLER I. + UNGERER A.: *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler. Eine anwendungsorientierte Darstellung*. Springer DE, 2012. ISBN: 3642322565, 9783642322563
- ROC-52** ROCHAU E.: *Das BEDAUX System*. Konrad Triltsch Verlag Würzburg. 1952.
- ROS-07** RÖSSNER-FISCHER A.: *Burnout-Ursachen, Prävention, die besondere Rolle der Führungskräfte*. GRIN Verlag. 2007.
- RUT-70** RUTENFRANZ J. + SINGER R.: *Aktuelle Probleme der Arbeitsumwelt*. A.W. Gentner Verlag Stuttgart. 1970.
ISBN: 3872471236
-

- RUT-87** RUTENFRANZ J. + KNAUTH P.: *Schichtarbeit und Nachtarbeit*. Neue Presse Verlags-GmbH, Passau. 1987.
- SCH-00** SCHÜNKE M.: *Funktionelle Anatomie-Topographie und Funktion des Bewegungssystems*. Georg Thieme Verlag. 2000.
ISBN: 3-131-185-716
- SCH-05** SCHLICK CH.: *Betriebsorganisation(Arbeitswissenschaft I)*. Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen. 2005. Online im Internet: http://www.iaw.rwth-aachen.de/download/lehre/vorlesungen/2005-ws-aw1/aw1bo_08_ws2005.pdf [Stand: 07.06.2014]
- SCH-10** SCHLICK CH. + BRUDER R. + LUCZAK H.: *Arbeitswissenschaft*. Springer Verlag Heidelberg Dordrecht London New York. 2010.
ISBN: 978-3-540-78332-9
- SCH-13** SCHMAUDER M.: *Arbeitswissenschaft*. Technische Universität Dresden. 2013. Online im Internet: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/itla/arbeitswissenschaft/studium/skripteordner/fernstudium_arbeitsgestaltung_ss/aw_fernstudium_ss13.pdf [Stand: 04.03.2014]
- SCH-65** SCHMIDTKE H.: *Die Ermüdung*. Verlag Hans Huber Bern und Stuttgart. 1965.
- SCH-92** SCHÖNFELDER E.: *Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung von Schichtsystemen nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien*. Verlag Peter Lang GmbH, Frankfurt am Main 1992.
ISBN: 3-631-44611-X
- SCH-93** SCHMIDTKE H.: *Ergonomie*. Carl Hanser Verlag München Wien. 1993. ISBN: 3-446-16440-5
- SCH-99** SCHNITTKER F. W.: *Ermittlung und Beurteilung der beruflichen Belastung durch Heben und Tragen schwerer Lasten bei Radio- und Fernsehtechnikern*. Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik. 1999.
- SCHM-13** SCHMIDTKE H. + JASTRZEBSKA-FRACZEK I.: *Ergonomie*. Carl Hanser Verlag. 2013. ISBN: 978-3-446-43546-9
- SIE-07** SIEREN F.: *Business Know-how China: So wird Ihre Geschäftsreise zum Erfolg*. Redline Wirtschaft, 2007. ISBN: 3-636-015273
- SIL-86** SILVERSTEIN B.A. + FINE L.J. + ARMSTRONG T.J.: *Hand wrist cumulative trauma disorders in industry*. British Journal of Industrial Medicine. 1986.
- SOO-07** SOOKOIAN S. + GEMMA C. + GIANOTTI T.F. + BURGUENO A. + ALVAREZ A. + GONZALEZ C.D. + PIROLA C.J.: *Serotonin and Serotonin Transporter Variant in Rotation Shift Workers*. 2007. Online im Internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1978382/> [Stand: 07.06.2014]
-

- STAT-09** STATISTISCHES BUNDESAMT: *Bevölkerung Deutschlands bis 2060*. Statistisches Bundesamt. 2009. Online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/Bevoelkerung_Deutschland2060Presse5124204099004.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 07.06.2014]
- STA-10-1** STATISTISCHES BUNDESAMT: *Statistisches Jahrbuch 2010*. Statistisches Bundesamt. 2010. ISBN: 978-3-8246-0897-3. Online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2010.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 07.06.2014]
- STAT-10-2** STATISTISCHES BUNDESAMT: *Mikrozensus*. Statistisches Bundesamt. 2010. Online im Internet: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetige/BerufArbeitsbedingungErwerbstaetigen/2010412107004.pdf?__blob=publicationFile [Stand: 07.06.2014]
- STAT-13** STATISTISCHES BUNDESAMT: *Sachverständigenrat – Jahresgutachten 2012/2013: Erstes Kapitel: Die wirtschaftliche Lage und Entwicklung in der Welt und in Deutschland*. Statistisches Bundesamt. 2010. Online im Internet: http://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/ga201213/ga12_i.pdf [Stand: 07.06.2014]
- STE-98** STEINBERG U. + WINDBERG H.J.: *Leitfaden Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten*. Verlag für neue Wissenschaft GmbH. 1998. ISBN: 3-89429-833-2
- STE-11** STEINBERG U.: *Die Leitmerkmal-methode manuelle Arbeitsprozesse*. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium. 2011. Online im Internet: http://suqr.uni-wuppertal.de/fileadmin/Fachgebiete/SiTe/LuFG_Sicherheitsrecht/Kolloquium_Download/Steinberg_2011_12_06.pdf [Stand: 07.06.2014]
-

13 Anhang

13.1 Morbidität unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren

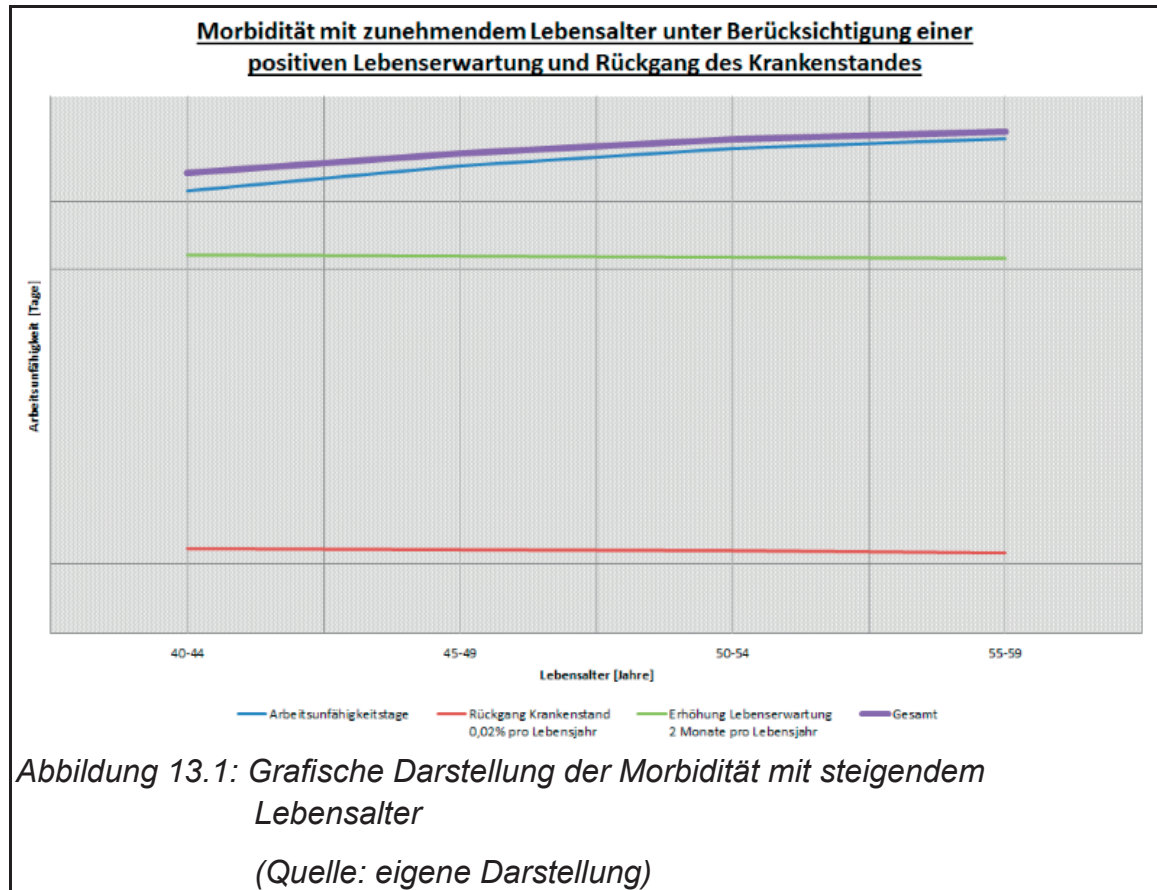


Abbildung 13.1 soll die Entwicklung des Krankenstands unter Berücksichtigung einer erhöhten Lebenserwartung verdeutlichen. Der Einfluss durch eine erhöhte Lebenserwartung (unter der Annahme, dass diese zu 100 % in Arbeitsfähigkeit umgesetzt wird), wie auch der Rückgang des Krankenstandes (unter der Annahme, dieser sei konstant) haben kaum Einfluss auf den Anstieg der Arbeitsunfähigkeit in den nächsten 20 Jahren.

13.2 Zeitgradspezifizierung bzw. Zeitgradüberwachung im Unternehmen

Die Überwachung der Zeitgraderreichung kann durch folgendes Beispiel täglich nachvollzogen werden. Die Berechnung basiert auf Grundlage von Gleichung 2.12.

produzierte Stückzahl	benötigte Zeit [h]	Zeit pro Stück / lt. Maschineneinstellung [h]	Zeitgrad [%]
21.860	8,5	0,00051	131,16%
21.820	8,5	0,00051	130,92%
21.610	8,5	0,00051	129,66%
21.900	8,5	0,00051	131,40%
10.420	4,2	0,00051	126,53%
6.120	2,3	0,00051	135,70%
21.810	8,5	0,00051	130,86%
21.890	8,5	0,00051	131,34%
21.910	8,5	0,00051	131,46%
5.240	2,0	0,00051	133,62%
11.460	4,5	0,00051	129,88%
21.830	8,5	0,00051	130,98%
21.890	8,5	0,00051	131,34%
7.650	3,0	0,00051	130,05%
9.140	3,5	0,00051	133,18%
21.740	8,5	0,00051	130,44%
21.710	8,5	0,00051	130,26%
21.700	8,5	0,00051	130,20%
21.870	8,5	0,00051	131,22%
21.790	8,5	0,00051	130,74%
21.740	8,5	0,00051	130,44%
21.850	8,5	0,00051	131,10%
21.830	8,5	0,00051	130,98%
21.820	8,5	0,00051	130,92%
21.870	8,5	0,00051	131,22%
21.870	8,5	0,00051	131,22%
21.840	8,5	0,00051	131,04%
2.620	1,0	0,00051	133,62%
14.650	5,5	0,00051	135,85%
21.730	8,5	0,00051	130,38%
21.830	8,5	0,00051	130,98%
21.790	8,5	0,00051	130,74%
21.780	8,5	0,00051	130,68%
21.800	8,5	0,00051	130,80%
21.790	8,5	0,00051	130,74%
21.880	8,5	0,00051	131,28%
5.340	2,0	0,00051	136,17%
11.810	4,5	0,00051	133,85%
21.830	8,5	0,00051	130,98%
21.840	8,5	0,00051	131,04%
21.850	8,5	0,00051	131,10%
21.820	8,5	0,00051	130,92%
21.920	8,5	0,00051	131,52%
21.830	8,5	0,00051	130,98%
21.880	8,5	0,00051	131,28%
21.810	8,5	0,00051	130,86%
21.920	8,5	0,00051	131,52%
21.890	8,5	0,00051	131,34%
21.920	8,5	0,00051	131,52%
			131,35%

Tabelle 13.1: Beispiel für eine tägliche Zeitgradkontrolle im Unternehmen
(Quelle: eigene Darstellung)

Die produzierte Stückzahl wurde auf die nächste Zehnerstelle ab - bzw. aufgerundet. Eine Rüstzeit ist der prinzipiellen Berechnung vorenthalten. Die Maschine ist mit 0,0051 Stunden pro Filterelement taktgebend und als fixe Konstante anzusehen. Der Zielwert von 132 % ist in der Regel nur bei einer nahezu perfek-

ten Maschinennutzung (kleiner als die prozentual zustehende Verteilzeit) und bei einer vernachlässigbaren Ausschussquote zu erreichen.

13.3 Detaillierter Algorithmus zu den experimentellen Untersuchungen aus Abbildung 5.2

1.x Arbeitsausführung der Arbeitsaufgaben 1 bis 6

- 1.1 „Papierbalg einlegen“
- 1.2 „Filterelement entnehmen“
- 1.3 „Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten“
- 1.4 „Vorvlies auflegen“
- 1.5 „Filterelement auflegen“
- 1.6 „Filterelement verpacken“

2.x Beobachtung/Erfassung mittels ausgewählter Bewertungsverfahren

- 2.1 Leitmerkmalmethode
- 2.2 CUELA-Verfahren (inkl. EMG-Modul)

3.x Zusätzliche Registrierung von signifikanten Faktoren

- 3.1 Zeitgrad
- 3.2 Muskuläre Beanspruchung
- 3.3 Anthropometrische Eigenschaften
- 3.4 Arbeitsumgebung (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Lärm, ...)
- 3.5 Herzschlagfrequenz

4.x Statistische Zusammenfassung der Rohdaten

- 4.1 Körperhaltung
- 4.2 Körperkraft (Unterarm und Kapuzenmuskel)
- 4.3 Winkelgeschwindigkeit und Mittenfrequenz
- 4.4 Mikropause
- 4.5 Herzschlagfrequenz

5.x Parameterstudien/Interpretation der Ergebnisse, Ableiten von mathematischen Modellen und Definition von Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsplatzgestaltung

- 5.1 Körperhaltung
 - 5.2 Körperkraft (Unterarm und Kapuzenmuskel)
-

- 5.3 Winkelgeschwindigkeit und Mittenfrequenz
 - 5.4 Mikropause
 - 5.5 Herzschlagfrequenz
 - 6.0 Erstellung einer eigenständigen Software zur Verifizierung der Gesamtbelastung/-beanspruchung der oberen Extremitäten**
 - 7.x Umsetzung von technischen/organisatorischen Maßnahmen**
 - 7.1 Technische Maßnahmen
 - 7.2 Organisatorische Maßnahmen
 - 8.0 Darstellung der Ergebnisse**
-

13.4 Terminplanung der experimentellen Untersuchungen

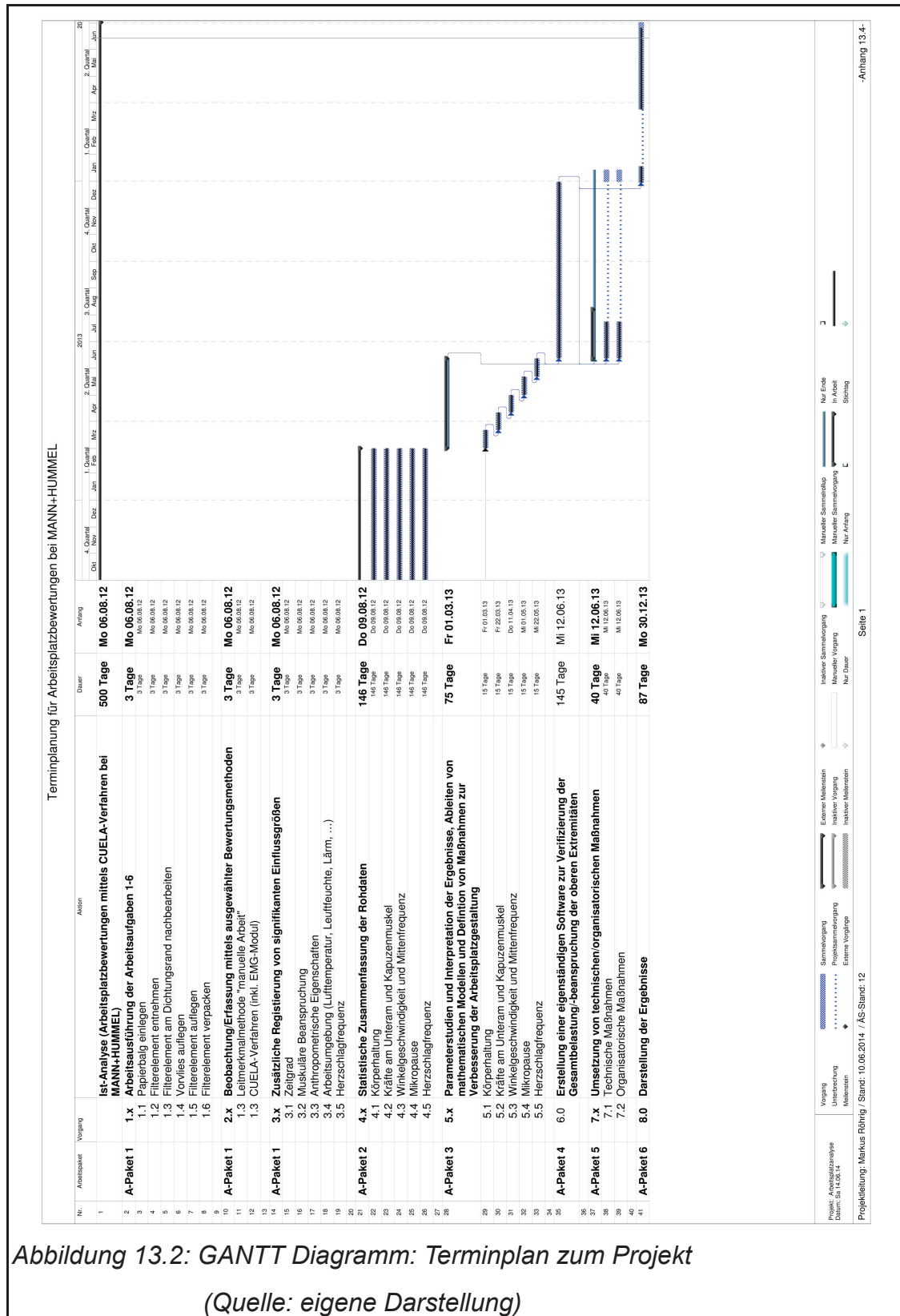
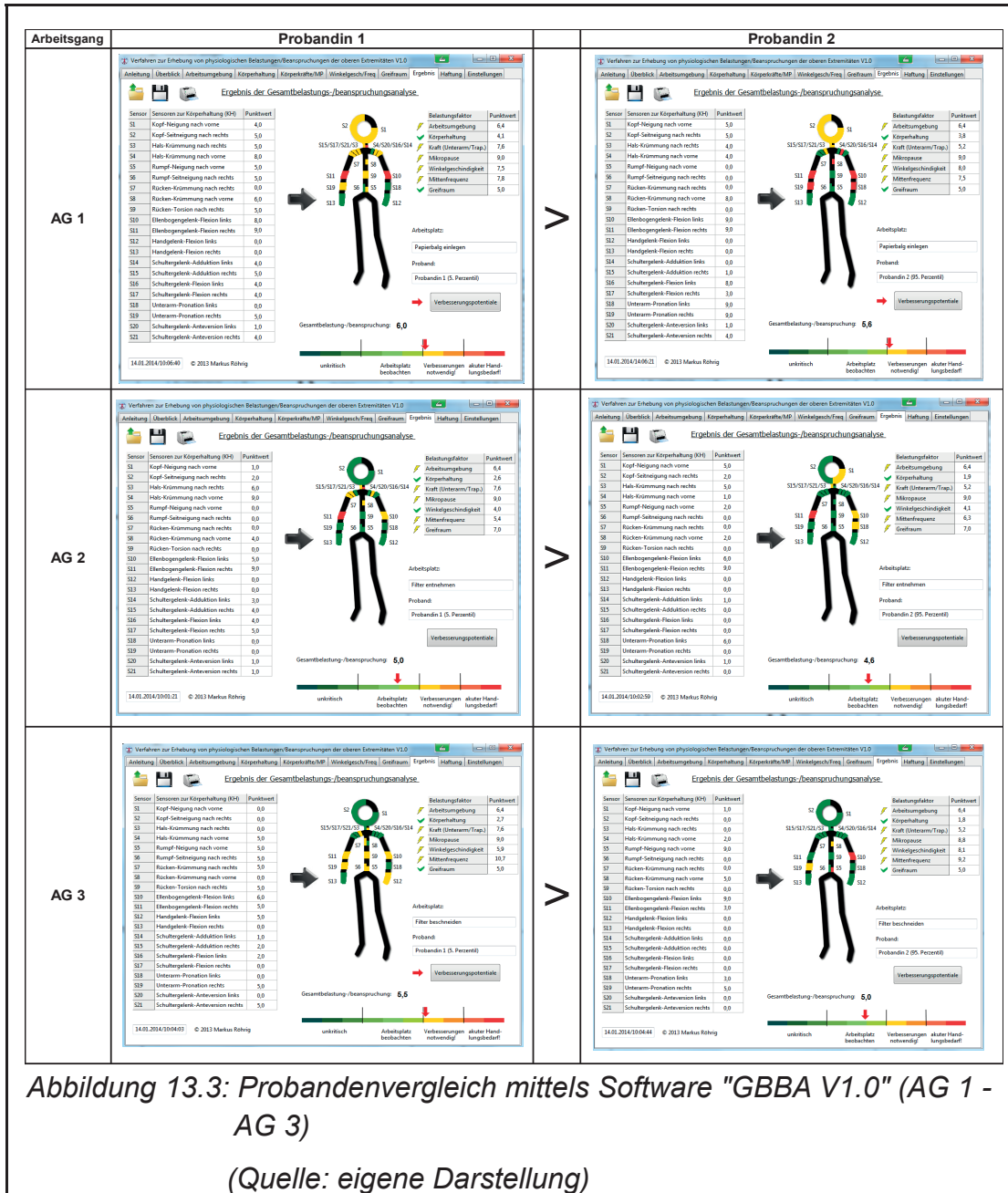


Abbildung 13.2: GANTT Diagramm: Terminplan zum Projekt

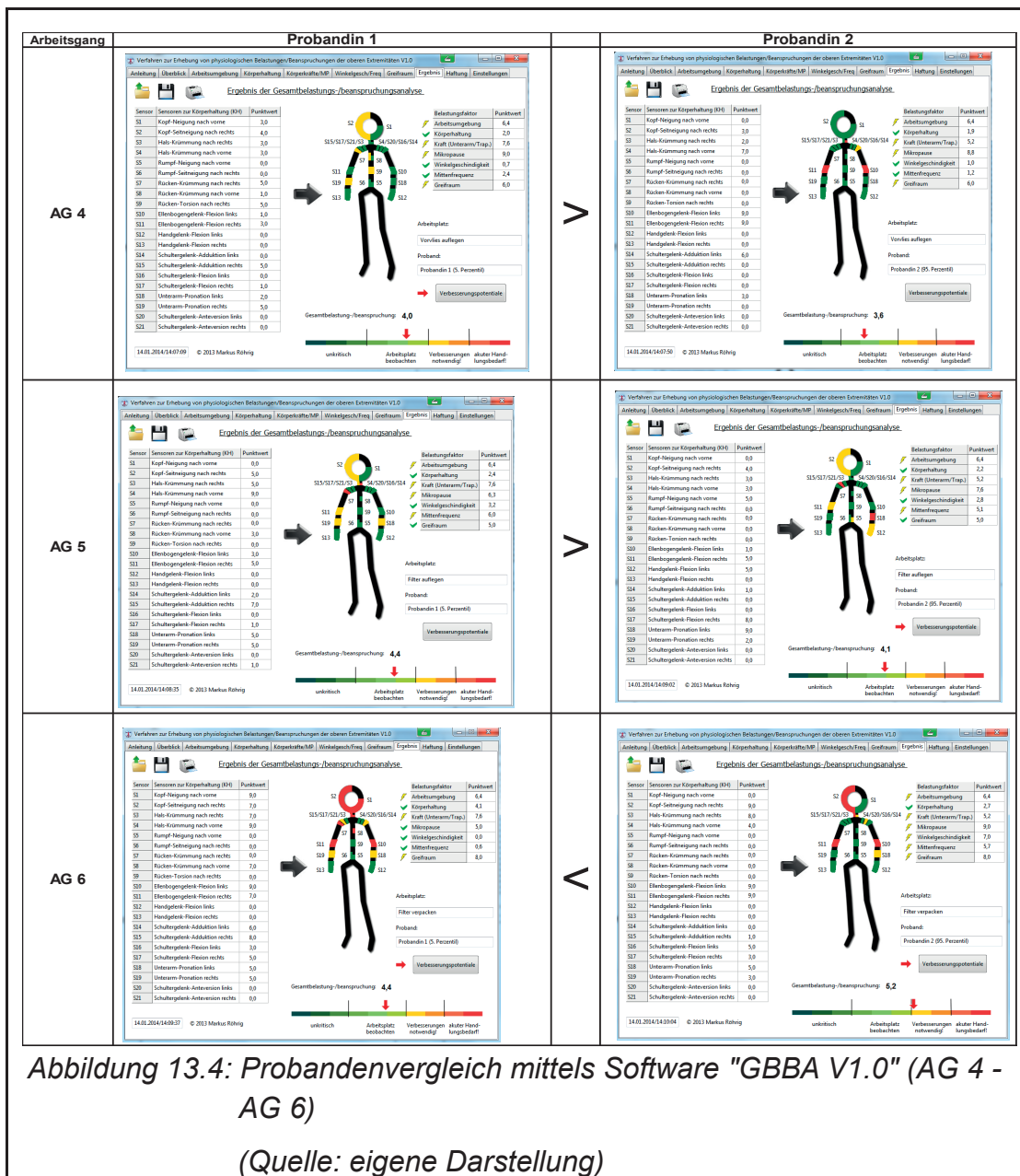
(Quelle: eigene Darstellung)

13.5 Probandenvergleich nach dem Modell der Gesamtbelastungs-/beanspruchungsanalyse



Probandenvergleich AG 1-AG 3:

Ein Überblick im direkten Vergleich der ersten drei Vorgänge lässt erkennen, dass Probandin 1 (5. Perzentil) ausnahmslos höhere Belastungs-/Beanspruchungskennzahlen besitzt. Im Durchschnitt lag Probandin 1 um einen halben Punktwert höher als Probandin 2.



Probandenvergleich AG 4-AG 6:

Auch die Vorgänge AG 4 - AG 6 wurden größtenteils durch höhere Belastungs-/Beanspruchungskennzahlen der Probandin des 5. Perzentils angeführt. Ausnahme bildete AG 6, bei welchem der Unterschied dadurch begründet ist, dass beide Probandinnen unterschiedlichen Verpackungsabläufen (OEM versus OES) ausgesetzt waren.

13.6 Lineare Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit, der Mittenfrequenz und der Körperkraft

Körperregion	Arbeitsgang	Einflussgröße	Proband	Zeitgrad 100%	Zeitgrad 132%	m	b
Ellenbogengelenk links	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	20,90	35,60	0,459375	-25,0375
Ellenbogengelenk links	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	5,78	13,50	0,24125	-18,345
Ellenbogengelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	22,30	39,30	0,53125	-30,825
Ellenbogengelenk links	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	0,20	0,30	0,003125	-0,1125
Ellenbogengelenk links	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	2,50	5,30	0,0875	-6,25
Ellenbogengelenk links	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	17,30	31,50	0,44375	-27,075
Ellenbogengelenk links	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	7,10	10,90	0,11875	-4,775
Ellenbogengelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	34,10	43,80	0,303125	3,7875
Ellenbogengelenk links	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	3,00	4,10	0,034375	-0,4375
Ellenbogengelenk links	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	5,80	5,90	0,003125	5,4875
Gesamt Ellenbogengelenk links	1-5	Winkelgeschwindigkeit	5.+95. Perzentil	11,90	19,02	0,2225625	-10,35825
Ellenbogengelenk rechts	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	33,80	38,00	0,13125	20,675
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	10,40	24,80	0,45	-34,6
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	11,30	31,50	0,63125	-51,825
Ellenbogengelenk rechts	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	3,70	5,70	0,0625	-2,55
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	17,20	21,40	0,13125	4,075
Ellenbogengelenk rechts	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	29,40	42,70	0,415625	-12,1625
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	17,20	21,10	0,121875	5,0125
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	16,90	24,00	0,221875	-5,2875
Ellenbogengelenk rechts	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	1,70	2,10	0,0125	0,45
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	8,20	9,80	0,05	3,2
Gesamt Ellenbogengelenk rechts	1-5	Winkelgeschwindigkeit	5.+95. Perzentil	14,98	22,11	0,2228125	-7,30125
Gesamt Ellenbogengelenk		Winkelgeschwindigkeit				0,2226875	-8,82975
Handgelenk links	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	16,60	25,70	0,284375	-11,8375
Handgelenk links	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil			0	0
Handgelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	18,00	21,90	0,121875	5,8125
Handgelenk links	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	1,60	1,60	0	1,6
Handgelenk links	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	8,10	16,60	0,265625	-18,4625
Handgelenk links	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	10,10	17,40	0,228125	-10,7125
Handgelenk links	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	5,70	8,35	0,0828125	-2,58125
Handgelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	23,10	32,10	0,28125	-5,025
Handgelenk links	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	8,70	10,40	0,053125	3,3875
Handgelenk links	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	8,80	10,60	0,05625	3,175
Gesamt Handgelenk links	1-5	Winkelgeschwindigkeit	5.+95. Perzentil	11,19	16,07	0,1526042	-4,071528
Handgelenk rechts	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	33,80	38,00	0,13125	20,675
Handgelenk rechts	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	10,40	24,80	0,45	-34,6
Handgelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	11,30	31,50	0,63125	-51,825
Handgelenk rechts	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	3,70	5,70	0,0625	-2,55
Handgelenk rechts	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	17,20	21,40	0,13125	4,075
Handgelenk rechts	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	29,40	29,40	0	29,4
Handgelenk rechts	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	17,20	17,20	0	17,2
Handgelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	16,90	16,90	0	16,9
Handgelenk rechts	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	1,70	1,70	0	1,7
Handgelenk rechts	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	8,20	8,20	0	8,2
Gesamt Handgelenk rechts	1-5	Winkelgeschwindigkeit	5.+95. Perzentil	14,98	19,48	0,140625	0,9175
Gesamt Handgelenk		Winkelgeschwindigkeit				0,1466146	-1,577014
Unterarm links	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	3,38	35,60	1,006875	-97,3075
Unterarm links	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	0,30	13,50	0,4125	-40,95
Unterarm links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	11,80	39,20	0,85625	-73,825
Unterarm links	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil			0	0
Unterarm links	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	1,10	5,30	0,13125	-12,025
Unterarm links	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	14,90	31,50	0,51875	-36,975
Unterarm links	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	4,50	10,90	0,2	-15,5
Unterarm links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	40,10	43,80	0,115625	28,5375
Unterarm links	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	4,10	4,10	0	4,1
Unterarm links	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	3,30	5,90	0,08125	-4,825
Gesamt Unterarm links	1-5	Winkelgeschwindigkeit	5.+95. Perzentil	9,28	21,09	0,3691667	-27,64111
Unterarm rechts	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	4,65	7,47	0,088125	-4,1625
Unterarm rechts	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	1,13	4,50	0,1053125	-9,40125
Unterarm rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	0,10	0,10	0	0,1
Unterarm rechts	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	1,60	3,30	0,053125	-3,7125
Unterarm rechts	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	5. Perzentil	5,30	5,70	0,0125	4,05
Unterarm rechts	Papierbalg einlegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	14,60	20,90	0,196875	-5,0875
Unterarm rechts	Filterelement entnehmen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	5,80	9,90	0,128125	-7,0125
Unterarm rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	6,20	2,48	-0,11625	17,825
Unterarm rechts	Vorvlies auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	0,30	0,60	0,009375	-0,6375
Unterarm rechts	Filterelement auflegen	Winkelgeschwindigkeit	95. Perzentil	7,40	10,20	0,0875	-1,35
Gesamt Unterarm rechts	1-5	Winkelgeschwindigkeit	5.+95. Perzentil	4,71	6,52	0,0564688	-0,938875
Gesamt Unterarm		Winkelgeschwindigkeit				0,2128177	-14,28999

Tabelle 13.2: Lineare Abhängigkeiten der Winkelgeschwindigkeit

(Quelle: eigene Darstellung)

Körperregion	Arbeitsgang	Einflussgröße	Proband	Zeitgrad 100%	Zeitgrad 132%	m	b
Ellenbogengelenk links	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,28	0,38	0,003125	-0,0325
Ellenbogengelenk links	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,33	0,30	-0,0009375	0,42375
Ellenbogengelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,45	0,66	0,0065625	-0,20625
Ellenbogengelenk links	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,00	0,03	0,0009375	-0,09375
Ellenbogengelenk links	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,11	0,04	-0,0021875	0,32875
Ellenbogengelenk links	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,38	0,44	0,001875	0,1925
Ellenbogengelenk links	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,30	0,47	0,0053125	-0,23125
Ellenbogengelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,66	0,68	0,000625	0,5975
Ellenbogengelenk links	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,03	0,23	0,00625	-0,595
Ellenbogengelenk links	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,04	0,08	0,00125	-0,085
Ellenbogengelenk links	Filterelement verpacken	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,16	0,40	0,0075	-0,59
Gesamt Ellenbogengelenk links	1-5	Mittenfrequenz	5.+95. Perzentil	0,25	0,34	0,00275568	-0,02647727
Ellenbogengelenk rechts	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,61	0,70	0,0028125	0,32875
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,40	0,41	0,0003125	0,36875
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,44	0,57	0,0040625	0,03375
Ellenbogengelenk rechts	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,31	0,38	0,0021875	0,09125
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,42	0,47	0,0015625	0,26375
Ellenbogengelenk rechts	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,44	0,59	0,0046875	-0,02875
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,35	0,39	0,00125	0,225
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,47	0,54	0,0021875	0,25125
Ellenbogengelenk rechts	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,13	0,22	0,0028125	-0,15125
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,44	0,44	0	0,44
Ellenbogengelenk rechts	Filterelement verpacken	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,38	0,39	0,0003125	0,34875
Gesamt Ellenbogengelenk rechts	1-5	Mittenfrequenz	5.+95. Perzentil	0,40	0,46	0,00201705	0,19738636
Gesamt Ellenbogengelenk				Mittenfrequenz		0,00238636	0,08545455
Handgelenk links	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,36	0,47	0,0034375	0,01625
Handgelenk links	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	5. Perzentil			0	0
Handgelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,46	0,67	0,0065625	-0,19625
Handgelenk links	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,08	0,01	-0,0021875	0,29875
Handgelenk links	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,32	0,39	0,0021875	0,10125
Handgelenk links	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,36	0,44	0,0025	0,11
Handgelenk links	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	95. Perzentil		0,37	0,0115625	-1,15625
Handgelenk links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,86	1,09	0,0071875	0,14125
Handgelenk links	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,33	0,37	0,00125	0,205
Handgelenk links	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,43	0,44	0,0003125	0,39875
Handgelenk links	Filterelement verpacken	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,45	0,49	0,00125	0,325
Gesamt Handgelenk links	1-5	Mittenfrequenz	5.+95. Perzentil	0,41	0,47	0,00213889	0,19166667
Handgelenk rechts	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,57	0,62	0,0015625	0,41375
Handgelenk rechts	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,44	0,54	0,003125	0,1275
Handgelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,64	0,86	0,006875	-0,0475
Handgelenk rechts	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,38	0,44	0,001875	0,1925
Handgelenk rechts	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	5. Perzentil	0,61	0,55	-0,001875	0,7975
Handgelenk rechts	Papierbalg einlegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,48	0,58	0,003125	0,1675
Handgelenk rechts	Filterelement entnehmen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,46	0,54	0,0025	0,21
Handgelenk rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	Mittenfrequenz	95. Perzentil			0	0
Handgelenk rechts	Vorvlies auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,18	0,18	0	0,18
Handgelenk rechts	Filterelement auflegen	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,52	0,53	0,0003125	0,48875
Handgelenk rechts	Filterelement verpacken	Mittenfrequenz	95. Perzentil	0,37	0,43	0,001875	0,1825
Gesamt Handgelenk rechts	1-5	Mittenfrequenz	5.+95. Perzentil	0,47	0,53	0,0019375	0,27125
Gesamt Handgelenk				Mittenfrequenz		0,00203819	0,23145833

Tabelle 13.3: Lineare Abhängigkeiten der Mittenfrequenz

(Quelle: eigene Darstellung)

Datum	Körperregion	Arbeitsgang	Proband	Körperseite	adjust. EMG (100%)	adjust. EMG (132%)	m	b	Punktwert (100%)	Punktwert (132%)
07.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Papierbalg einlegen	P1	links	23,67	27,15	0,10875	12,795	9,0	9,0
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filterelement entnehmen	P1	links	20,88	30,06	0,286875	-7,8075	9,0	9,0
07.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P1	links	19,63	14,93	-0,146875	34,3175	8,9	7,0
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Vorvlies auflegen	P1	links	19,80	18,74	-0,033125	23,1125	8,9	8,5
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filterelement auflegen	P1	links	14,02	16,86	0,08875	5,145	6,6	7,7
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Papierbalg einlegen	P2	links	10,91	15,49	0,143125	-3,4025	5,4	7,2
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filterelement entnehmen	P2	links	7,65	6,21	-0,045	12,15	4,1	3,5
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P2	links	8,87	9,32	0,0140625	7,46375	4,5	4,7
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Vorvlies auflegen	P2	links	15,80	14,83	-0,0303125	18,83125	7,3	6,9
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filterelement auflegen	P2	links	9,03	12,71	0,115	-2,47	4,6	6,1
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel links	Filter verpacken	P2	links	11,14	12,54	0,04375	6,765	5,5	6,0
EMG Kapuzenmuskel links							0,04954545	9,71818182		
07.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Papierbalg einlegen	P1	rechts	43,76	38,68	-0,15875	59,635	9,0	9,0
07.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filterelement entnehmen	P1	rechts	30,57	39,80	0,2884375	1,72625	9,0	9,0
07.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P1	rechts	17,68	10,98	-0,209375	38,6175	8,1	5,4
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Vorvlies auflegen	P1	rechts	9,23	8,54	-0,0215625	11,38625	4,7	4,4
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filterelement auflegen	P1	rechts	12,80	13,99	0,0371875	9,08125	6,1	6,6
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filter verpacken Pakete	P1	rechts	-	39,82				9,0
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filterelement entnehmen	P2	rechts	7,46	9,03	0,0490625	2,55375	4,0	4,6
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P2	rechts	6,73	7,90	0,0365625	3,07375	3,7	4,2
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Vorvlies auflegen	P2	rechts	13,46	15,57	0,0659375	6,86625	6,4	7,2
08.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filterelement auflegen	P2	rechts	11,99	14,61	0,081875	3,8025	5,8	6,8
09.08.12	EMG Kapuzenmuskel rechts	Filter verpacken	P2	rechts	11,37	15,03	0,114375	-0,0675	5,5	7,0
EMG Kapuzenmuskel rechts							0,028375	13,6675		
07.08.12	EMG Unterarm links	Papierbalg einlegen	P1	links	23,67	50,75	0,84625	-60,955	9,0	9,0
07.08.12	EMG Unterarm links	Filterelement entnehmen	P1	links	14,37	23,97	0,3	-15,63	6,7	9,0
07.08.12	EMG Unterarm links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P1	links	19,14	17,45	-0,0528125	24,42125	8,7	8,0
08.08.12	EMG Unterarm links	Vorvlies auflegen	P1	links	18,83	14,26	-0,1428125	33,11125	8,5	6,7
08.08.12	EMG Unterarm links	Filterelement auflegen	P1	links	27,99	29,76	0,0553125	22,45875	9,0	9,0
09.08.12	EMG Unterarm links	Filter verpacken Pakete	P1	links	-	43,63				9,0
09.08.12	EMG Unterarm links	Filterelement entnehmen	P2	links	10,28	12,51	0,0696875	3,31125	5,1	6,0
09.08.12	EMG Unterarm links	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P2	links	15,62	16,49	0,0271875	12,90125	7,2	7,6
08.08.12	EMG Unterarm links	Vorvlies auflegen	P2	links	21,69	46,10	0,7628125	-54,59125	9,0	9,0
08.08.12	EMG Unterarm links	Filterelement auflegen	P2	links	15,47	35,36	0,6215625	-46,68625	7,2	9,0
09.08.12	EMG Unterarm links	Filter verpacken	P2	links	20,27	28,79	0,26625	-6,355	9,0	9,0
EMG Unterarm links							0,27534375	-8,801375		
07.08.12	EMG Unterarm rechts	Papierbalg einlegen	P1	rechts	36,29	41,10	0,1503125	21,25875	9,0	9,0
07.08.12	EMG Unterarm rechts	Filterelement entnehmen	P1	rechts	20,96	25,89	0,1540625	5,55375	9,0	9,0
07.08.12	EMG Unterarm rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P1	rechts	11,07	12,34	0,0396875	7,10125	5,4	5,9
08.08.12	EMG Unterarm rechts	Vorvlies auflegen	P1	rechts	5,03	3,87	-0,03625	8,655	3,0	2,5
08.08.12	EMG Unterarm rechts	Filterelement auflegen	P1	rechts	8,76	8,89	0,0040625	8,35375	4,5	4,6
09.08.12	EMG Unterarm rechts	Filter verpacken Pakete	P1	rechts	-	30,42				9,0
09.08.12	EMG Unterarm rechts	Filterelement entnehmen	P2	rechts	14,66	17,62	0,0925	5,41	6,9	8,0
09.08.12	EMG Unterarm rechts	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	P2	rechts	7,34	8,26	0,02875	4,465	3,9	4,3
08.08.12	EMG Unterarm rechts	Vorvlies auflegen	P2	rechts	7,46	7,87	0,0128125	6,17875	4,0	4,1
08.08.12	EMG Unterarm rechts	Filterelement auflegen	P2	rechts	11,76	14,02	0,070625	4,6975	5,7	6,6
09.08.12	EMG Unterarm rechts	Filter verpacken	P2	rechts	34,55	42,45	0,246875	9,8625	9,0	9,0
EMG Unterarm rechts							0,07634375	8,153625		
Lineare Funktionen:										
Kapuzenmuskel: $0,0389602273 \cdot 11,69284091 \rightarrow f(x)=0,039x+11,693$										

Tabelle 13.4: Lineare Abhängigkeit/Punktwert für Körperkräfte

(Quelle: eigene Darstellung)

13.7 Spezifizierung von Punktwerten für Einflussfaktoren während der Arbeitsausführung

Proband 1 [5. Perzentil]	Papierbalg einlegen		PW	Filterelement entnehmen		PW	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten		PW	Vorvlies auflegen		PW	Filterelement auflegen		PW	Filterelement verpacken		PW
	ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%	
Kopfneigung nach vorne [°]	16,0%	27,3%	4	5,2%	-%	1	2,8%	0,2%	0	19,7%	1,4%	3	0,7%	1,8%	0	-%	66,2%	9
Kopfseitneigung nach rechts [°]	9,8%	50,0%	5	10,0%	-%	2	0,0%	0,0%	0	16,0%	17,5%	4	14,9%	26,8%	5	-%	37,0%	7
Halskrümmung nach rechts [°]	23,9%	30,5%	5	20,3%	44,3%	6	2,6%	1,7%	0	14,4%	10,5%	3	21,7%	21,3%	5	-%	36,2%	7
Halskrümmung nach vorne [°]	42,1%	45,5%	8	68,7%	47,4%	9	37,9%	11,2%	5	15,9%	5,1%	3	77,4%	55,1%	9	-%	85,1%	9
Rumpfeigung nach vorne [°]	-%	-%	-	-%	0,0%	0	-%	-%	-	0,9%	0,3%	0	0,6%	0,5%	0	-%	1,4%	0
Rumpfsseitneigung nach rechts [°]	-%	-%	-	-%	0,0%	0	-%	-%	-	-%	0,0%	0	0,1%	0,0%	0	-%	0,1%	0
Rückenkrümmung nach rechts [°]	-%	0,2%	0	0,0%	0,0%	0	-%	-%	-	-%	-%	-	0,0%	-%	0	-%	0,0%	0
Rückenkrümmung nach vorne [°]	24,1%	40,1%	6	15,0%	24,5%	4	0,1%	-%	0	8,9%	2,6%	1	10,3%	14,3%	3	-%	36,5%	7
Rückentorsion nach rechts [°]	-%	-%	-	0,1%	1,4%	0	-%	-%	-	-%	-%	-	-%	0,1%	0	-%	1,6%	0
Ellenbogengelenk-Flexion links [°]	39,8%	47,9%	8	23,3%	35,4%	5	20,0%	46,3%	6	7,3%	5,2%	1	0,8%	20,3%	3	-%	71,8%	9
Ellenbogengelenk-Flexion rechts [°]	65,2%	57,8%	9	32,7%	65,7%	9	18,9%	34,2%	5	11,0%	17,1%	3	30,4%	29,7%	5	-%	39,6%	7
Handgelenk-Flexion links [°]	0,0%	0,8%	0	-%	0,1%	0	-%	-%	-	0,2%	0,1%	0	0,0%	-%	0	-%	0,3%	0
Handgelenk-Flexion rechts [°]	0,0%	-%	0	-%	0,0%	0	-%	0,0%	0	0,1%	0,1%	0	0,3%	0,6%	0	-%	0,3%	0
Schultergelenk-Adduktion links [°]	17,9%	12,8%	4	5,6%	17,6%	3	9,7%	4,6%	1	2,5%	1,9%	0	10,3%	6,7%	2	-%	31,6%	6
Schultergelenk-Adduktion rechts [°]	36,2%	21,0%	5	15,2%	20,9%	4	9,2%	8,2%	2	63,3%	7,6%	5	40,1%	36,9%	7	-%	42,8%	8
Schultergelenk-Flexion links [°]	19,3%	13,2%	4	29,6%	9,4%	4	5,8%	11,9%	2	1,7%	1,7%	0	2,5%	1,3%	0	-%	13,8%	3
Schultergelenk-Flexion rechts [°]	9,7%	20,6%	4	32,8%	14,1%	5	3,9%	0,0%	0	3,4%	10,6%	1	5,2%	4,7%	1	-%	24,5%	5
Unterarm-Pronation links [°]	-%	0,1%	0	-%	0,0%	0	-%	0,0%	0	8,0%	-%	2	-%	-%	-	-%	-%	-
Unterarm-Pronation rechts [°]	-%	-%	-	0,1%	0,0%	0	-%	-%	-	-%	-%	-	-%	-%	-	-%	-%	-
Schultergelenk-Anteversion links [°]	2,3%	12,3%	1	5,0%	9,5%	1	0,0%	-%	0	2,5%	2,8%	0	0,6%	0,7%	0	-%	4,0%	0
Schultergelenk-Anteversion rechts [°]	12,6%	25,1%	4	2,4%	10,3%	1	-%	-%	-	3,2%	1,1%	0	7,1%	5,0%	1	-%	1,9%	0
Ellenbogengelenk-Flexion links [°/s abs.]	20,9	35,6	6	5,8	13,5	3	22,3	39,3	7	0,2	0,3	0	2,5	5,3	0	-%	4,3	0
Ellenbogengelenk-Flexion rechts [°/s abs.]	33,8	38	9	10,4	24,8	4	11,3	31,5	4	3,7	5,7	1	17,2	21,4	4	-%	3,9	0
Handgelenk-Flexion links [°/s abs.]	16,6	25,7	4	47,2	10,2	6	18	21,9	4	1,6	1,6	0	8,1	16,6	4	-%	3,2	0
Handgelenk-Flexion rechts [°/s abs.]	30,5	38,8	8	8,43	20	4	15,7	25,7	4	5,5	8,6	2	14,5	19,7	4	-%	2,8	0
Unterarm-Pronation links [°/s abs.]	3,38	9,24	1	0,3	1	0	11,8	21,3	4	-	-	0	1,1	1,7	0	-%	0,4	0
Unterarm-Pronation rechts [°/s abs.]	4,65	7,47	2	1,13	4,5	0	0,1	0,1	0	1,6	3,3	0	5,3	5,7	1	-%	0,4	0
Ellenbogengelenk-Flexion links [MnF]	0,28	0,38	3	0,33	0,3	2	0,45	0,66	9	0	0,03	0	0,11	0,04	0	-%	0,16	0
Ellenbogengelenk-Flexion rechts [MnF]	0,61	0,7	9	0,4	0,41	4	0,44	0,57	9	0,31	0,38	3	0,42	0,47	8	-%	0,23	1
Handgelenk-Flexion links [MnF]	0,36	0,47	5	-	0,39	3	0,46	0,67	9	0,08	0,01	0	0,32	0,39	3	-%	0,24	1
Handgelenk-Flexion rechts [MnF]	0,57	0,62	9	0,44	0,54	9	0,64	0,86	9	0,38	0,44	5	0,61	0,55	9	-%	0,17	0
PUNKTWERT Körperhaltung	4		3		3		2		2		2		2		4			
PUNKTWERT Mittenfrequenz	5		3		4		1		2		0		0		0			
PUNKTWERT Winkelgeschwindigkeit	7		5		9		2		5		1		0		1			

* = keine Werte verfügbar, es wird deshalb eine mittlere Belastung suggeriert (Punktwert = 5)

PW = Punktwert

ZG = Zeitgrad

Proband 2 [95. Perzentil]	Papierbalg einlegen		PW	Filterelement entnehmen		PW	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten		PW	Vorvlies auflegen		PW	Filterelement auflegen		PW	Filterelement verpacken		PW
	ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%		ZG: 100%	ZG: 132%	
Kopfneigung nach vorne [°]	27,6%	17,8%	5	24,5%	-	5	7,1%	2,5%	1	6,7%	2,1%	0	2,7%	1,2%	0	5,9%	1,4%	0
Kopfseitneigung nach rechts [°]	25,0%	25,0%	5	10,0%	-	2	0,0%	0,0%	0	10,7%	10,0%	3	17,9%	18,2%	4	40,0%	52,0%	9
Halskrümmung nach rechts [°]	19,3%	19,8%	4	20,2%	34,2%	5	7,6%	2,4%	0	7,8%	10,1%	2	14,1%	14,9%	3	34,9%	50,1%	4
Halskrümmung nach vorne [°]	16,3%	19,7%	4	9,1%	7,4%	1	12,7%	3,6%	2	47,0%	22,2%	7	12,9%	9,7%	3	23,5%	15,2%	4
Rumpfeigung nach vorne [°]	0,4%	0,5%	0	14,0%	1,6%	2	55,3%	96,5%	9	5,1%	2,4%	0	32,8%	17,1%	5	0,7%	1,0%	0
Rumpfsseitneigung nach rechts [°]	-	0,1%	0	0,1%	0,1%	0	-	0,0%	0	0,1%	0,4%	0	-	0,0%	0	1,2%	1,8%	0
Rückenkrümmung nach rechts [°]	-	0,0%	0	-	0,0%	0	0,0%	0,0%	0	0,1%	0,1%	0	-	0,0%	0	0,1%	0,3%	0
Rückenkrümmung nach vorne [°]	41,9%	41,6%	8	3,1%	1,4%	2	-	-	-	0,2%	0,2%	0	1,7%	1,2%	0	2,9%	2,4%	0
Rückentorsion nach rechts [°]	0,1%	0,5%	0	0,2%	0,1%	0	0,1%	0,1%	0	1,5%	1,1%	0	0,6%	3,4%	0	0,4%	0,9%	0
Ellenbogengelenk-Flexion links [°]	54,7%	62,7%	9	21,2%	49,2%	6	48,6%	45,5%	9	65,6%	57,5%	9	2,3%	7,2%	1	73,0%	70,0%	9
Ellenbogengelenk-Flexion rechts [°]	77,4%	74,8%	9	64,7%	60,8%	9	4,2%	17,7%	3	48,6%	43,7%	9	26,2%	28,6%	5	79,4%	72,5%	9
Handgelenk-Flexion links [°]	0,1%	0,3%	0	-	0,3%	0	0,1%	0,3%	0	0,0%	0,0%	0	-	-	-	0,0%	0,1%	0
Handgelenk-Flexion rechts [°]	0,1%	0,0%	0	-	0,1%	0	0,1%	-	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	-	0	0,0%	0,0%	0
Schultergelenk-Adduktion links [°]	0,3%	0,9%	0	3,4%	6,3%	1	5,0%	4,5%	0	25,6%	43,3%	6	6,2%	2,5%	1	1,5%	3,8%	0
Schultergelenk-Adduktion rechts [°]	5,1%	8,0%	1	0,3%	0,8%	0	0,7%	1,3%	0	5,4%	3,1%	0	0,7%	1,5%	0	4,1%	7,2%	1
Schultergelenk-Flexion links [°]	50,4%	38,7%	8	2,8%	3,8%	0	1,6%	0,6%	0	3,9%	2,2%	0	4,6%	3,7%	0	27,5%	25,6%	5
Schultergelenk-Flexion rechts [°]	10,3%	11,1%	3	0,5%	2,7%	0	0,1%	0,1%	0	2,6%	2,1%	0	37,6%	47,7%	8	7,5%	12,9%	3
Unterarm-Pronation links [°]	52,2%	62,7%	9	22,8%	40,5%	6	8,1%	19,7%	3	-	10,5%	3	63,9%	51,6%	9	25,9%	28,7%	5
Unterarm-Pronation rechts [°]	71,1%	69,2%	9	0,1%	4,7%	0	-	-	-	0,9%	1,2%	0	7,4%	10,3%	2	7,2%	14,4%	3
Schultergelenk-Anteversion links [°]	1,9%	12,3%	1	5,7%	6,4%	1	0,8%	0,7%	0	4,7%	1,2%	0	0,1%	-	0	0,5%	0,5%	0
Schultergelenk-Anteversion rechts [°]	16,2%	17,6%	4	0,2%	0,3%	0	-	0,1%	0	0,3%	2,8%	0	0,5%	0,8%	0	1,4%	6,1%	0
Ellenbogengelenk-Flexion links [°/s abs.]	17,3	31,5	5	7,1	10,9	3	34,1	43,8	9	3	4,1	0	5,8	5,9	1	17,8	26,5	4
Ellenbogengelenk-Flexion rechts [°/s abs.]	29,4	42,7	9	17,2	21,1	4	16,9	24	4	1,7	2,1	0	8,2	9,8	3	23,7	29	6
Handgelenk-Flexion links [°/s abs.]	10,1	17,4	4	5,7	8,35	2	23,1	21,1	4	8,7	10,4	3	8,8	10,6	3	15,5	22,3	4
Handgelenk-Flexion rechts [°/s abs.]	19,2	25,9	4	13,8	14,6	4	14,8	-	4	1,7	3	0	7,5	9	2	13,2	16,8	4
Unterarm-Pronation links [°/s abs.]	14,9	26,3	4	4,5	6,18	1	40,1	46,3	9	4,1	6,4	1	3,3	4,1	0	15,2	21,7	4
Unterarm-Pronation rechts [°/s abs.]	14,6	20,9	4	5,8	9,9	2	6,2	2,48	0	0,3	0,6	0	7,4	10,2	2	10,2	14,1	4
Ellenbogengelenk-Flexion links [MnF]	0,28	0,44	3	0,37	0,47	6	0,63	0,68	9	0,23	0,23	1	0,06	0,08	0	0,36	0,4	3
Ellenbogengelenk-Flexion rechts [MnF]	0,44	0,59	9	0,35	0,39	3	0,47	0,54	9	0,13	0,22	0	0,44	0,44	8	0,38	0,39	3
Handgelenk-Flexion links [MnF]	0,36	0,44	4	-	0,37	3	0,86	1,09	9	0,33	0,37	3	43	0,44	0	0,45	0,49	9
Handgelenk-Flexion rechts [MnF]	0,48	0,58	9	0,46	0,54	9	0,4	-	4	0,18	0,18	0	0,52	0,53	9	0,37	0,43	4
PUNKTWERT Körperhaltung	4		2		2		2		2		2		2		3		3	
PUNKTWERT Mittenfrequenz	5		3		5		1		1		2		2		4		4	
PUNKTWERT Winkelgeschwindigkeit	6		5		8		1		4		0		0		0		0	

13.8 Punktwertdefinition zur Mikropause



Körperregion	Proband	Arbeitsgang	Zeitgrad [%]	Mikropausen [% Intervall]	Punktwert	Punktwert nach Proband	
						P1	P2
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Papierbalg einlegen	100	1,9	9	9,0	9,0
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Papierbalg einlegen	100	0,1	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Papierbalg einlegen	100	1,0	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Papierbalg einlegen	100	0,2	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Papierbalg einlegen	100	0,9	9		
Handgelenk-Flexion links	P2	Papierbalg einlegen	100	2,0	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Papierbalg einlegen	100	1,2	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Papierbalg einlegen	100	3,1	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Papierbalg einlegen	132	1,3	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Papierbalg einlegen	132	0,0	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Papierbalg einlegen	132	0,0	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Papierbalg einlegen	132	0,0	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Papierbalg einlegen	132	0,0	9	6,4	9,0
Handgelenk-Flexion links	P2	Papierbalg einlegen	132	0,4	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Papierbalg einlegen	132	0,0	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Papierbalg einlegen	132	0,6	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement entnehmen	100	10,3	4		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement entnehmen	100	1,3	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement entnehmen	100	9,3	5		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement entnehmen	100	1,3	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement entnehmen	100	15,3	2		
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement entnehmen	100	3,8	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement entnehmen	100	11,5	4		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement entnehmen	100	5,4	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement entnehmen	132	3,5	9	9,0	9,0
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement entnehmen	132	1,6	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement entnehmen	132	2,1	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement entnehmen	132	1,0	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement entnehmen	132	6,4	9		
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement entnehmen	132	4,8	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement entnehmen	132	1,8	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement entnehmen	132	2,5	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	0,7	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	0,1	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	2,5	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	0,1	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	0,5	9	8,4	8,0
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	0,1	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	1,6	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	100	2,0	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,0	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,3	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,0	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,0	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,0	9		
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,0	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	0,1	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten	132	-	-		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	100	11,9	4	8,4	8,0
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	100	2,6	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	100	0,3	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	100	1,9	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	100	3,5	9		
Handgelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	100	2,6	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	100	1,3	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	100	13,5	3		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	132	3,3	9		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	132	1,2	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	132	0,1	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	132	1,8	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Vorvlies auflegen	132	0,6	9	2,9	5,5
Handgelenk-Flexion links	P2	Vorvlies auflegen	132	2,0	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Vorvlies auflegen	132	1,2	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Vorvlies auflegen	132	8,2	7		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	100	39,0	0		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	100	11,5	4		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	100	8,4	6		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	100	8,4	6		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	100	21,7	0		
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	100	5,2	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	100	15,0	3		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	100	24,8	0		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	132	34,7	0		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	132	5,9	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	132	6,9	8	1,0	9,0
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	132	9,4	5		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement auflegen	132	20,3	0		
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement auflegen	132	3,0	9		
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement auflegen	132	8,3	6		
Handgelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement auflegen	132	15,1	2		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P1	Filterelement verpacken	132	25,4	0		
Ellenbogengelenk-Flexion links	P2	Filterelement verpacken	100	0,6	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement verpacken	132	0,1	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement verpacken	132	17,1	2		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement verpacken	100	0,4	9		
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	P2	Filterelement verpacken	132	0,0	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement verpacken	132	15,3	2	1,0	9,0
Handgelenk-Flexion links	P2	Filterelement verpacken	100	1,1	9		
Handgelenk-Flexion links	P1	Filterelement verpacken	132	0,0	9	1,0	9,0
Handgelenk-Flexion rechts	P1	Filterelement verpacken	132	26,3	0		

Tabelle 13.6: Ergebnisse/Punktwerte zur Mikropause

(Quelle: eigene Darstellung)

13.9 Manuelles Berechnungsbeispiel zur Gesamtbelastung/-beanspruchung im Vergleich zum Softwaremodell

Gegeben:

Arbeitsgang:	Papierbalg einlegen
Probandin:	Probandin 1 (5. Perzentil)
Zeitgrad:	132 %

L1:

Lösung nach dem Modell zur Berechnung der Gesamtbelastung/-beanspruchung aus Kapitel 10.1:

$$\text{GBB}_{\text{oE}} = \text{AU}_{\text{gaM}} \cdot \text{AU}_i + \frac{(\text{KK}_{\text{PW}} + \text{MP}_{\text{PW}})}{2} \cdot (\text{KKMP})_i + \text{KH}_{\text{aM}} \cdot \text{KH}_i + \text{WG}_{\text{PW}} \cdot \text{WG}_i + \text{MF}_{\text{PW}} \cdot \text{MF}_i + \text{GR}_{\text{PW}} \cdot \text{GR}_i \quad 12.1$$

1. Berechnung des Punktwertes zur Arbeitsumgebung:

$$\text{AU}_{\text{gaM}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{AU}_i)^2}{\sum_{j=1}^n \text{AU}_j} \quad 12.2$$

$$\begin{aligned} \text{AU}_{\text{gaM}} = & (9 \cdot \frac{9}{(9+7+1+2+5+1)}) + (7 \cdot \frac{7}{(9+7+1+2+5+1)}) + \dots \\ & \dots (1 \cdot \frac{1}{(9+7+1+2+5+1)}) + (2 \cdot \frac{2}{(9+7+1+2+5+1)}) + \dots \\ & \dots (5 \cdot \frac{5}{(9+7+1+2+5+1)}) + (1 \cdot \frac{1}{(9+7+1+2+5+1)}) \end{aligned}$$

$$\text{AU}_{\text{gaM}} = 6,44 \text{ PW} \quad 12.2$$

2. Berechnung Punktwert der Körperkraft:

$$\begin{aligned}
 KK_{PW} &= \text{Gesamtpunktwert der Körperkraft} \\
 &= \frac{PW_{UA} + PW_{KM}}{2} \quad \mathbf{12.3}
 \end{aligned}$$

$$PW_{UA} = 7 PW + \frac{9 PW - 7 PW}{20 \% MVC - 15 \% MVC} \cdot (UA_{adj.EMG} - 15 \% MVC) \quad \mathbf{12.4}$$

$$UA_{adj.EMG} = \frac{F_{adj.UA} \cdot 100 \% MVC}{F_{Greif max}} \quad \mathbf{12.5}$$

$$F_{adj.UA} = \text{Funktion zum Unterarm nach Gleichung 6.1}$$

$$F_{adj.UA} = 0,1758 \text{ N} \cdot 132 \% - 0,323875 \text{ N} = 22,88 \text{ N}$$

$$F_{Greif max} = \text{Maximale Greifkraft gemäß der Messung}$$

$$UA_{adj.EMG} = \frac{22,88 \text{ N} \cdot 100 \% MVC}{89 \text{ N}} = 25,71 \% MVC \quad \mathbf{12.5}$$

$$\begin{aligned}
 PW_{UA} &= 7 PW + \frac{9 PW - 7 PW}{20 \% MVC - 15 \% MVC} \cdot (25,71 \% MVC - 15 \% MVC) \\
 &= 11,28 PW \quad \mathbf{12.4}
 \end{aligned}$$

$$PW_{KM} = 7 PW + \frac{9 PW - 7 PW}{20 \% MVC - 15 \% MVC} \cdot (KM_{adj.EMG} - 15 \% MVC) \quad \mathbf{12.6}$$

$$KM_{adj.EMG} = \frac{F_{adj.KM} \cdot 100}{F_{KM}} \quad \mathbf{12.7}$$

$$F_{adj.KM} = \text{Funktion des Kapuzenmuskels nach Gleichung 6.2}$$

$$F_{adj.KM} = 0,039 \text{ N} \cdot 132 \% + 11,693 \text{ N} = 16,84 \text{ N}$$

$$F_{KM} = \text{Maximale Kraft des Kapuzenmuskels gemäß der Messung}$$

$$KM_{adj.EMG} = \frac{16,84 \text{ N} \cdot 100 \% MVC}{224 \text{ N}} = 7,52 \% MVC \quad \mathbf{12.7}$$

$$\begin{aligned}
 PW_{KM} &= 7 PW + \frac{9 PW - 7 PW}{20 \% MVC - 15 \% MVC} \cdot (7,52 \% MVC - 15 \% MVC) \\
 &= 4,01 PW \quad \mathbf{12.6}
 \end{aligned}$$

$$KK_{PW} = \frac{11,28 + 4,01}{2} = 7,64 PW \quad \mathbf{12.3}$$

3. Berechnung des Punktwertes zur Mikropause:

$$MP_{PW} = \frac{MP_{\bar{x}} + MP_{IO}}{2} \quad 12.8$$

$$MP_{\bar{x}} = \text{Arithmetisches Mittel der Punktwerte zur Mikropause}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{MP_i}{n} = \frac{9 PW + 9 PW + 9 PW + 9 PW}{4} = 9 PW \quad 12.9$$

$$MP_{IO} = 5 PW + \frac{9 PW - 5 PW}{132 \% - 100 \%} \cdot (\text{Zeitgrad } [\%] - 100 \%) \quad 12.10$$

$$MP_{IO} = 5 PW + \frac{9 PW - 5 PW}{132 \% - 100 \%} \cdot (132 \% - 100 \%) = 9 PW \quad 12.10$$

$$MP_{PW} = \frac{9 PW + 9 PW}{2} = 9 PW \quad 12.8$$

4. Berechnung Punktwert für die Körperhaltung:

$$KH_{aM} = \text{Arithmetisches Mittel der Punktwerte zur Körperhaltung}$$

$$KH_{aM} = \sum_{i=1}^n \frac{KH_i}{n} \quad 12.11$$

$$KH_{aM} = \frac{4 PW + 5 PW + 5 PW + 8 PW + 5 PW + 5 PW + 0 PW + 6 PW +}{21} \\ \frac{5 PW + 8 PW + 9 PW + 0 PW + 0 PW + 4 PW + 5 PW + 4 PW +}{21} \\ \frac{4 PW + 0 PW + 5 PW + 1 PW + 4 PW}{21} = 4,14 PW$$

5. Berechnung des Punktwertes zur Winkelgeschwindigkeit:

$$WG_{PW} = \text{Gesamtpunktwert für die Winkelgeschwindigkeit}$$

$$WG_{PW} = \frac{WG_E + WG_U + WG_H}{3} \quad 12.12$$

$$WG_E = \frac{\frac{0,2227 \cdot \text{Zeitgrad } [\%] - 8,823}{100 \%}}{\frac{0,2227 \cdot 100 \% - 8,823}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{WG_{E_i}}{n} \quad 12.13$$

$$WG_E = \frac{\frac{0,2227 \cdot 132 \% - 8,823}{100 \%}}{\frac{0,2227 \cdot 100 \% - 8,823}{100 \%}} \cdot \left(\frac{6 + 9}{2} \right) = 11,47 \text{ PW}$$

$$WG_U = \frac{\frac{0,2128 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} - 14,29}{100 \%}}{\frac{0,2128 \cdot 100 \% - 14,29}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{WG_{U_i}}{n} \quad 12.14$$

$$WG_U = \frac{\frac{0,2128 \cdot 132 \% - 14,29}{100 \%}}{\frac{0,2128 \cdot 100 \% - 14,29}{100 \%}} \cdot \left(\frac{1 + 2}{2} \right) = 2,96 \text{ PW}$$

$$WG_H = \frac{\frac{0,1466 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} - 1,577}{100 \%}}{\frac{0,1466 \cdot 100 \% - 1,577}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{WG_{H_i}}{n} \quad 12.15$$

$$WG_H = \frac{\frac{0,1466 \cdot 132 \% - 1,577}{100 \%}}{\frac{0,1466 \cdot 100 \% - 1,577}{100 \%}} \cdot \left(\frac{4 + 8}{2} \right) = 8,15 \text{ PW}$$

$$WG_{PW} = \frac{11,47 \text{ PW} + 2,96 \text{ PW} + 8,15 \text{ PW}}{3} = 7,53 \text{ PW} \quad 12.12$$

6. Berechnung Punktwert Mittenfrequenz:

MF_{PW} = Gesamtpunktwert der Mittenfrequenz

$$MF_{PW} = \frac{MF_H + MF_E}{2} \quad 12.16$$

$$MF_H = \frac{\frac{0,002 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} + 0,2315}{100 \%}}{\frac{0,002 \cdot 100 \% + 0,2315}{100 \%}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{MF_{H_i}}{n} \quad 12.17$$

$$MF_H = \frac{\frac{0,002 \cdot 132 \% + 0,2315}{100 \%}}{\frac{0,002 \cdot 100 \% + 0,2315}{100 \%}} \cdot \left(\frac{5 \text{ PW} + 9 \text{ PW}}{2} \right) = 8,04 \text{ PW} \quad 12.17$$

$$MF_E = \frac{\frac{0,0024 \cdot \text{Zeitgrad [\%]} + 0,086}{100}}{\frac{0,0024 \cdot 100 \% + 0,086}{100}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{MF_{E_i}}{n} \quad 12.18$$

$$MF_E = \frac{\frac{0,0024 \cdot 132 \% + 0,086}{100 \%}}{\frac{0,0024 \cdot 100 \% + 0,086}{100 \%}} \cdot \left(\frac{3 \text{ PW} + 9 \text{ PW}}{2} \right) = 7,41 \text{ PW} \quad 12.18$$

$$MF_{PW} = \frac{8,04 \text{ PW} + 7,41 \text{ PW}}{2} = 7,73 \text{ PW} \quad 12.16$$

7.0 Berechnung des Punktwertes zum Greifraum:

GR_{PW} = Gesamtpunktwert zum Greifraum

$$= \sum_{i=1}^n \frac{GR_i}{n} = \frac{4 \text{ PW} + 6 \text{ PW}}{2} = 5 \text{ PW} \quad 12.17$$

Definierte Einflussindexe (vgl. Kapitel 10.1):

AU_i = Arbeitsumgebungsindex = 0,1

$(KKMP)_i$ = Körperkraft- und Mikropausenindex = 0,2

KH_i = Multiplikator für Körperhaltungsindex = 0,4

WG_i = Multiplikator für Winkelgeschwindigkeitsindex = 0,1

MF_i = Multiplikator für Mittenfrequenzindex = 0,1

GR_i = Multiplikator für Greifraumindex = 0,1

8.0 Berechnung Gesamtbelastung/-beanspruchung:

$$GBB_{oE} = AU_{gaM} \cdot AU_i + \frac{(KK_{PW} + MP_{PW})}{2} \cdot (KKMP)_i + KH_{aM} \cdot KH_i + \\ WG_{PW} \cdot WG_i + MF_{PW} \cdot MF_i + GR_{PW} \cdot GR_i \quad 12.1$$

$$AU_{gaM} = 6,44 \text{ PW} \cdot 0,1 + \frac{(7,64 \text{ PW} + 9 \text{ PW})}{2} \cdot 0,2 + 4,14 \text{ PW} \cdot 0,4 + \\ 7,53 \text{ PW} \cdot 0,1 + 7,73 \text{ PW} \cdot 0,1 + 5,00 \text{ PW} \cdot 0,1 = 5,99 \quad 12.1$$

Die Gesamtbelastung/-beanspruchung entspricht gemäß des Modells aus Kapitel 10.1 einem Gesamtpunktwert von 6.

L2:

Lösung nach dem Softwarekonzept zur Berechnung der Gesamtbelastung/-beanspruchungen der oberen Extremitäten von Montagetätigkeiten in der Akkordarbeit aus Kapitel 10.2. Parallel zur Berechnung mittels der Software wurde das Programm in seinen Grundzügen erläutert.

Vorabfrage:

1. Bitte benennen Sie den Arbeitsplatz, der mittels Gesamtbelastungsanalyse beurteilt wird:

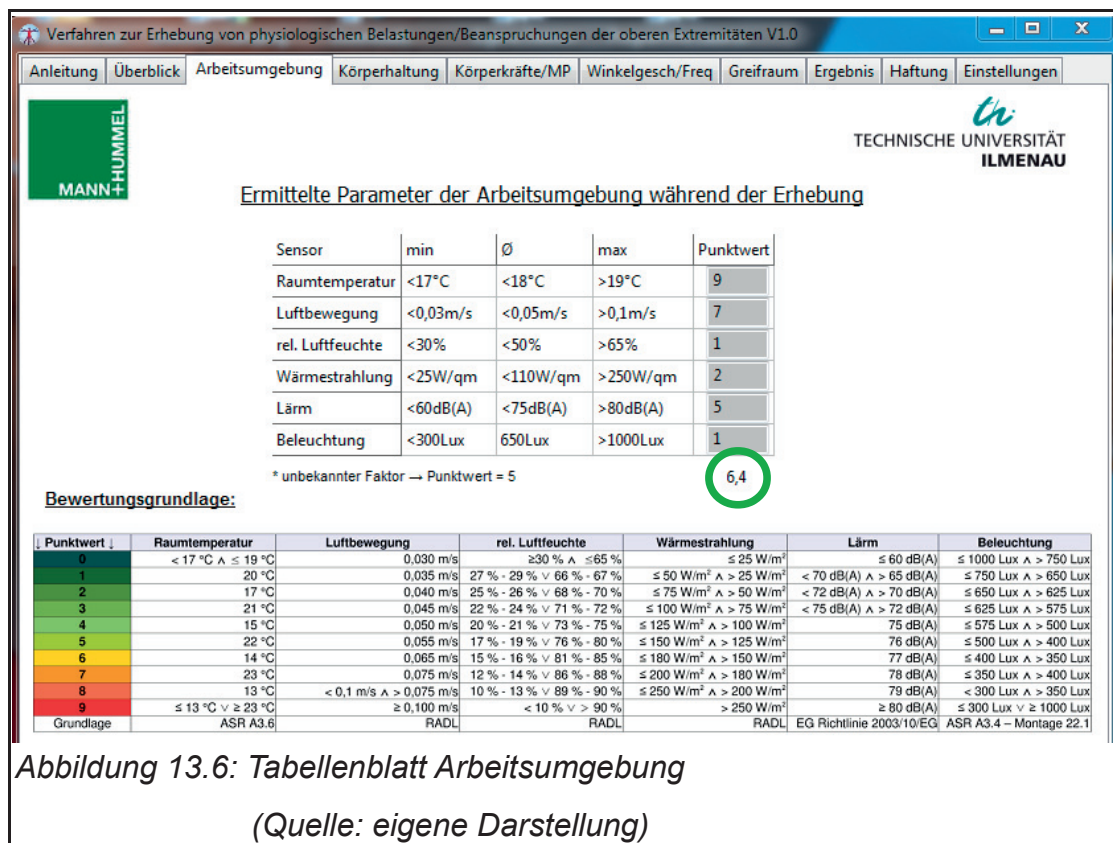
2. Name des Probanden eingeben:

3. Geben Sie den Zeitgrad (Normalarbeit ± 100%)
 %

Abbildung 13.5: Vorabfrage: Programm GBBA V1.0
 (Quelle: eigene Darstellung)

Nach Eingabe der Vorabfrage im Programm (vgl. Abbildung 13.5) ist mit dem Tabellenblatt „Arbeitsumgebung“ (vgl. Abbildung 13.6) zu beginnen. In den grauen Feldern sind jeweils Punktwerte für die Einflussgrößen Raumtemperatur, Luftbewegung, relative Luftfeuchtigkeit, Wärmestrahlung, Lärm und die Beleuchtung anzugeben. In unserem Szenario existierten folgende Messwerte:

Raumtemperatur:	24,5° C
Luftbewegung:	0,07 m/s
Relative Luftfeuchte:	28 %
Wärmestrahlung:	60 W/m ²
Lärm:	76,3 dB(A)
Beleuchtung:	700 Lux



Aus diesen Werten errechnete das Programm einen Gesamtpunktwert für die Arbeitsumgebung von 6,4 Punkten (Berechnungsgrundlage / siehe Kapitel 10).

Wie in Abbildung 13.7 dargestellt, erfordert das Programm im weiteren die Eingabe diverser Einflussfaktoren zur Körperhaltung. Es stehen verschiedenste Körperregionen der oberen Extremitäten zur Verfügung. Sollten zu bestimmten Körperzonen keine Kenngrößen bekannt sein, so steht dem Benutzer ein separates Formblatt zur Aufzeichnung der entsprechenden Körperzonen zur Verfügung.

Verfahren zur Erhebung von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen der oberen Extremitäten V1.0

Anleitung | Überblick | Arbeitsumgebung | **Körperhaltung** | Körperkräfte/MP | Winkelgesch/Freq | Greifraum | Ergebnis | Haftung | Einstellungen

TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

Formblatt zur Aufzeichnung von Körperhaltungen

Bewertungsgrundlage:

Punktwert	Körperhaltung
0	≤ 5 %
1	≤ 7,5 % \wedge > 5 %
2	≤ 10 % \wedge > 7,5 %
3	≤ 15 % \wedge > 10 %
4	≤ 20 % \wedge > 15 %
5	≤ 30 % \wedge > 20 %
6	≤ 35 % \wedge > 30 %
7	≤ 40 % \wedge > 35 %
8	≤ 45 % \wedge > 40 %
9	> 45 %

Beschreibung	Punktwert
Kopfneigung nach vorne	4
Kopfseitneigung nach rechts	5
Halskrümmung nach rechts	5
Halskrümmung nach vorne	8
Rumpfneigung nach vorne	5
Rumpfseitneigung nach rechts	5
Rückenkrümmung nach rechts	0
Rückenkrümmung nach vorne	6
Rumpftorsion nach rechts	5
Ellenbogengelenk Flexion links	8
Ellenbogengelenk Flexion rechts	9
Handgelenk Flexion links	0
Handgelenk Flexion rechts	0
Schultergelenk Adduktion links	4
Schultergelenk Adduktion rechts	5
Schultergelenk Flexion links	4
Schultergelenk Flexion rechts	4
Unterarm-Pronation links	0
Unterarm-Pronation rechts	5
Schultergelenk-Anteversion links	1
Schultergelenk-Anteversion rechts	4

* unbekannter Faktor → Punktwert = 5 4,1

Weiter

Grundlage: RÖHRIG

Abbildung 13.7: Tabellenblatt: Körperhaltung

(Quelle: eigene Darstellung)

Das Programm bietet dem Benutzer bis zu 21 Körperregionen der oberen Extremitäten an.

Die Punktwertvergabe erfolgte für das ausgewählte Szenario auf Basis der Messergebnisse von Tabelle 13.5.

Im nächsten Tabellenblatt war die Beanspruchung bzgl. der Körperkräfte zu spezifizieren. Hierfür sind die maximale Greifkraft sowie die maximale Kraft für den Kapuzenmuskel zu definieren. Sollte eine unmittelbare Messung während der Erhebung mit den betroffenen Probanden nicht möglich sein, können die Werte aus empirisch ermittelten Messungen entnommen werden (Schaltfläche: „*Richtwerte f. Kraft*“).

Verfahren zur Erhebung von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen der oberen Extremitäten V1.0

Anleitung Überblick Arbeitsumgebung Körperhaltung **Körperkräfte/MP** Winkelgesch/Freq Greifraum Ergebnis Haftung Einstellungen

MANN+HUMMEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

Maximalkräfte und Mikropausen während der Erhebung

Maximale Greifkraft: 89 Newton
Kraft Kapuzenmuskel: 224 Newton

Richtwerte f. Kraft

	Unterarm	Kapuzenmuskel
adj. Kraft [N]	22,9	16,8
adj. EMG [%MVC]	25,7	7,5
Punktwert	11,3	4,0

Bewertungsgrundlage für Mikropause:

Punktwert ↓	Mikropause
0	> 20 %
1	≤ 20 % ∧ > 17,5 %
2	≤ 17,5 % ∧ > 15 %
3	≤ 15 % ∧ > 12 %
4	≤ 12 % ∧ > 10 %
5	9 %
6	8 %
7	7 %
8	6 %
9	< 6 %
Beschreibung	Anteil an Pausenzeiten, die dem Muskel zur Verfügung stehen
Grundlage	IfA

Sensor Mikropause ⓘ

Ellenbogengelenk-Flexion links	9
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	9
Handgelenk-Flexion links	9
Handgelenk-Flexion rechts	9

* unbekannter Faktor -> Punktwert = 5 9,0

Weiter

Abbildung 13.8: Tabellenblatt: Körperkräfte/Mikropause
(Quelle: eigene Darstellung)

Im unteren Teil des Tabellenblattes ist die Mikropausenzeit für das Ellengelenk und das Handgelenk einzutragen.

Das blaue Symbol „i“ soll dem Benutzer auf ein Informationsfeld hinweisen und wird bei Berührung mit dem Mauszeiger aktiv.

Verfahren zur Erhebung von physiologischen Belastungen/Beanspruchungen der oberen Extremitäten V1.0

Anleitung Überblick Arbeitsumgebung Körperhaltung Körperkräfte/MP Winkelgesch/Freq Greifraum Ergebnis Haftung Einstellungen

MANN+HUMMEL

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Winkelgeschwindigkeiten und Mittenfrequenzen

Sensor	Winkelgeschwindigkeit	Mittenfrequenz
Ellenbogengelenk-Flexion links	6	3
Ellenbogengelenk-Flexion rechts	9	9
Handgelenk-Flexion links	4	5
Handgelenk-Flexion rechts	8	9
Unterarm-Pronation links	1	
Unterarm-Pronation rechts	2	

* unbekannter Faktor → Punktwert = 5 7,5 7,8

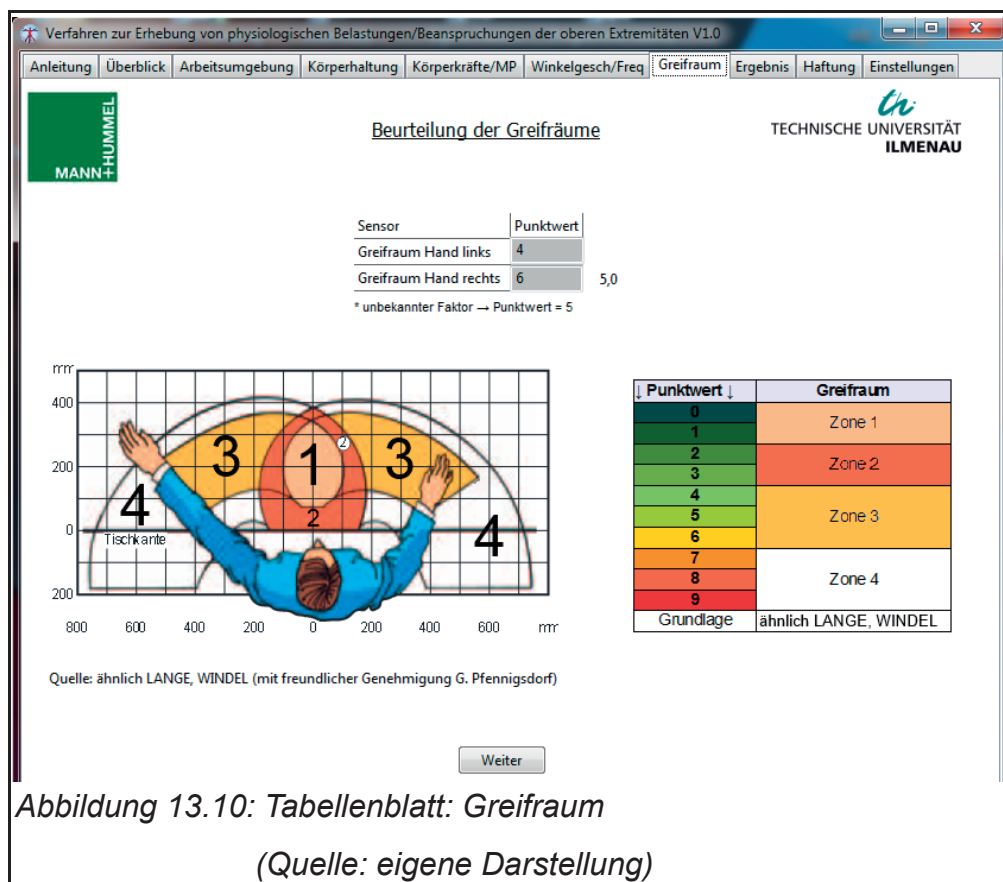
Bewertungsgrundlage:

Punktwert	Winkelgeschwindigkeiten	Mittenfrequenz
0	$\leq 4,5 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 22 \text{ Hz}$
1	$\leq 6 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 4,5 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 25 \text{ Hz} \wedge > 22 \text{ Hz}$
2	$\leq 9 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 6 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 32 \text{ Hz} \wedge > 25 \text{ Hz}$
3	$\leq 11 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 9 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 40 \text{ Hz} \wedge > 32 \text{ Hz}$
4	$\leq 23 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 11 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 40 \text{ Hz}$
5	$\leq 25 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 23 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 41 \text{ Hz}$
6	$\leq 30 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 25 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 42 \text{ Hz}$
7	$\leq 32 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 30 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 43 \text{ Hz}$
8	$\leq 35 \text{ }^\circ/\text{s} \wedge > 32 \text{ }^\circ/\text{s}$	$\leq 44 \text{ Hz}$
9	$> 35 \text{ }^\circ/\text{s}$	$> 44 \text{ Hz}$
Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert aus allen Einzelmessungen	Arithmetischer Mittelwert aus allen Einzelmessungen
Grundlage	HANSSON	HANSSON

Weiter

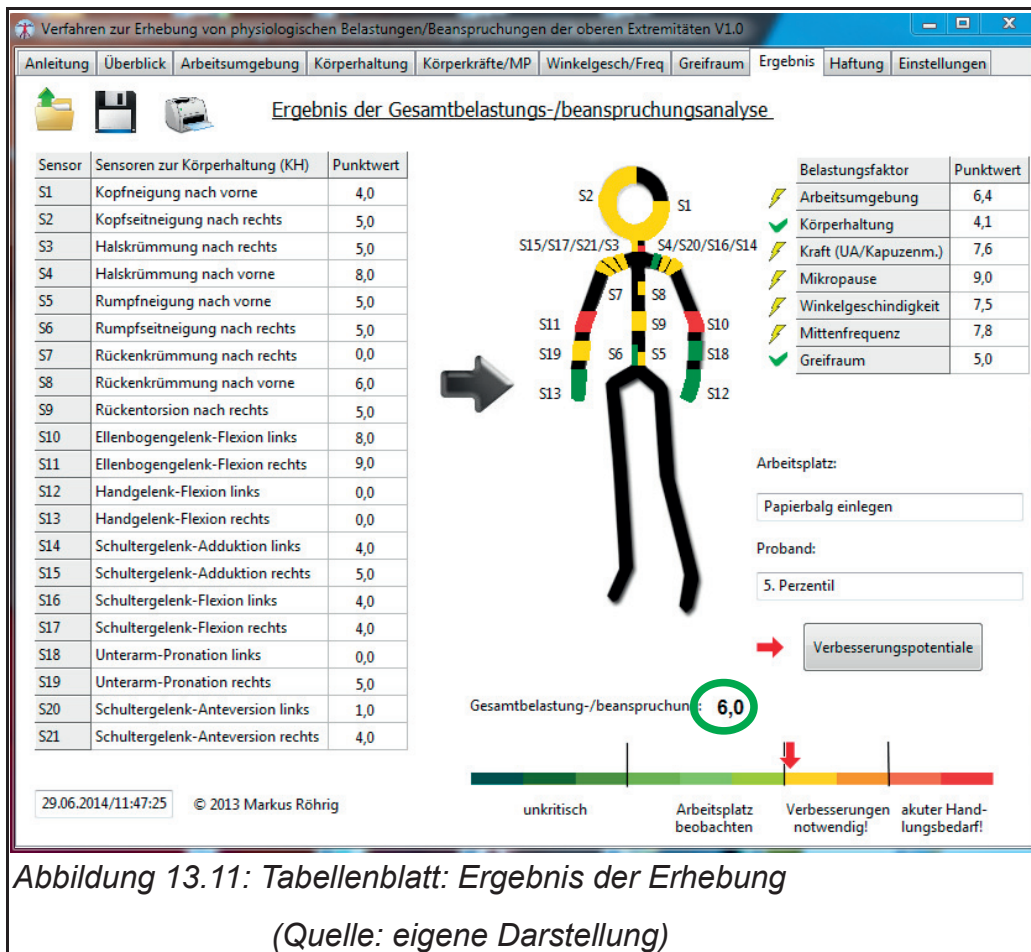
Abbildung 13.9: Tabellenblatt: Winkelgeschwindigkeit/Mittenfrequenz
(Quelle: eigene Darstellung)

Weitere Einflussgrößen, die das Programm einfordert, sind die Winkelgeschwindigkeit und die Mittenfrequenz. Hierzu sind die grauen Felder entsprechend der erhobenen Messerwerte zu aktualisieren.



Im nächsten Tabellenblatt ist der Greifraum näher zu spezifizieren. Hierbei wurde auf bestehende Erkenntnisse von LANGE UND WINDEL zurückgegriffen. Es sind gemäß der vorzufindenden Situation die Zonen zu definieren und einem entsprechenden Punktwert zuzuordnen. Überschneidet ein Zonenbereich mehrere Punktwerte (z. B. Zone 3 kann einem Punktwert von 4, 5 oder 6 zugeordnet werden), so ist nach der „Qualität“ der Zone zu bewerten. Dazu ein Beispiel:

Der Greifraum für die linke Hand befand sich in Zone 3, allerdings näher an Zone 2 als an Zone 4, und wurde deshalb dem Punktwert 4 zugewiesen. Der Greifraum für die rechte Hand hingegen war ebenfalls in Zone 3 vorzufinden, allerdings tendenziell eher an Zone 4 als an Zone 2. Dieser Greifraumbereich wurde deshalb mit einem Punktwert von 6 bewertet.



Das Tabellenblatt „Ergebnis“ repräsentiert eine Zusammenfassung zu allen berechneten Einflussgrößen. In der linken oberen Hälfte des Tabellenblattes werden die Ergebnisse zu den jeweiligen Belastungsfaktoren dargestellt. Bei Überschreitung eines Punktwertes von 5, wird die jeweilige Zeile zusätzlich mit einem Symbol (Blitz) gekennzeichnet. Werte unterhalb von 5 Punkten erfüllen die ergonomischen Bedingungen und erhalten zur zusätzlichen Darstellung einen grünen Haken.

Die Figur im Programm deutet farblich das Ergebnis der verschiedenen Körperhaltungen an. Rot gekennzeichnete Stellen sind besonders kritisch zu bewerten. Der Farbumschlag gelb wurde für Körperhaltungen verwendet, die beachtet werden und ggf. mit Verbesserungsmaßnahmen belegt werden sollten. Grüne Bereiche stellen aus ergonomischer Sicht günstige Körperhaltungen dar. Die dazu definierten Punktwerte können bei Bedarf der Tabelle auf der linken Seite entnommen werden.

Im rechten unteren Bereich der Benutzeroberfläche wird die errechnete Gesamtbelastung/-beanspruchung angezeigt, die in diesem Beispiel einem Punktwert von 6 entspricht. Diese Beurteilung wird zusätzlich zum Punktwert auch in Form einer Farbskala dargestellt.

Individuelle Verbesserungsmöglichkeiten für dieses Beispiel können über das Aktivieren der Schaltfläche „Verbesserungspotentiale“ abgerufen werden.

Details zum Programm können aus dem Video entnommen werden, welches Teil der Software ist.

Der Download der Software kann über das Fachgebiet der Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Ilmenau angefordert werden.

Das Ergebnis ist identisch mit der manuellen Berechnung aus Anlage 13.9. Ein Nachweis einer validierten Softwarefunktionalität wurde damit erbracht.

13.10 Berechnung der Annahme- und Ablehnungsbereiche zu den jeweiligen Hypothesen aus Kapitel 8

Bei Berechnung der Grenzwerte ist folgendermaßen vorzugehen:

1. Erwartungswert berechnen:

$$\mu = n \cdot p \quad 12.18$$

n = Anzahl der Stichproben

p = Überschreitungswahrscheinlichkeit

$$\mu = 38 \cdot 0,9 = 34,2 \quad 12.18$$

2. Standardabweichung berechnen:

$$\sigma = \sqrt{n \cdot p(1 - p)} = \sqrt{38 \cdot 0,9(1 - 0,9)} = 1,8493242 \quad 12.19$$

[PAP-01], S. 352

3. Grenzwert für Normalverteilung ermitteln:

Signifikanzniveau = $\alpha = 0,5$

→ Grenze der Normalverteilung = $z = 1,96$ 12.20

4. Ablehnungs- bzw. Annahmebereiche definieren:

Durch Z-Transformation (Näheres unter [ROE-12], S. 121-123)

$$\begin{aligned} \text{Annahme}_{\text{Min}}: \quad \mu - z \cdot \sigma &= 34,2 - 1,96 \cdot 1,8493242 \\ &= 30,58 \sim 31 \end{aligned} \quad 12.21$$

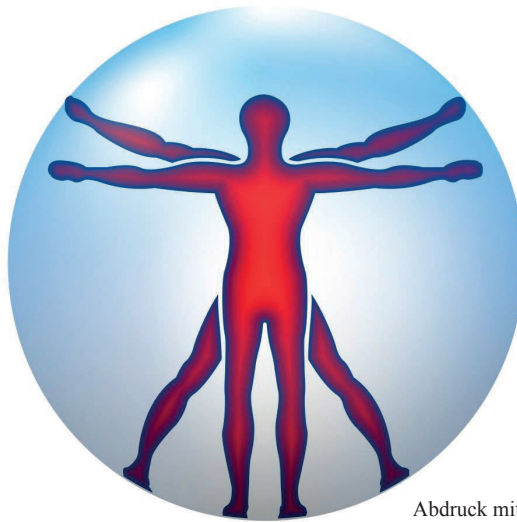
$$\begin{aligned} \text{Annahme}_{\text{Max}}: \quad \mu + z \cdot \sigma &= 34,2 + 1,96 \cdot 1,8493242 \\ &= 37,83 \sim 38 \end{aligned} \quad 12.22$$

Der Ablehnungsbereich für die erste Hypothese und die Mittenfrequenz beträgt $\{0; \dots 30\}$. Dadurch ergibt sich ein Annahmebereich von $\{31; \dots 38\}$.

Synonym zu dieser Berechnung ist bei allen anderen Ablehnungs- bzw. Annahmebereichen vorzugehen.

13.11 Interview über Beschwerden am Bewegungsapparat

Interview zur Eruierung von arbeitsbedingten Erkrankungen/Beschwerderegionen



Abdruck mit freundlicher Genehmigung von
© Sonja Janson. Alle Rechte vorbehalten.

Wichtige Hinweise zum Aufbau und der Vorgehensweise des Interviews:

Bogen 1:	Allgemeine Fragen
Bogen 2:	Auskünfte zur Arbeitsorganisation
Bogen 3:	Lokalisierung von Beschwerderegionen (tabellarisch)
Bogen 4:	Detaillierung der Beschwerderegionen

Ihr Interviewer wird Ihnen alle Fragen erläutern und ggf. auf gewünschte Details eingehen. Bitte beantworten Sie jede Frage nach **Ihrem subjektiven Empfinden (Ihre Einschätzung)**. Das Interview besteht aus drei Bögen und wird ca. 5 - 10 Minuten in Anspruch nehmen. Das Interview wird schriftlich in Form eines Fragebogens dokumentiert, allerdings enthält dieser keinerlei Daten, die eine personenbezogene Auswertung ermöglichen! Das Dokument wurde mit dem Betriebsrat besprochen und in dieser Form genehmigt!

Bogen 1: Allgemeine Fragen

1. Datum der Befragung:

2. Geschlecht [m/w]: ☐ weiblich ☐ männlich

3. Altersgruppierung [Jahre]: ☐ bis 20 ☐ 20-25 ☐ 25-30 ☐ 30-35

☐ 35-40 ☐ 40-45 ☐ 45-50 ☐ 50-55

☐ 55-60 ☐ 60-65 ☐ über 65

4. Körpergröße [in Meter]: ☐ bis 1,40 ☐ 1,40-1,50 ☐ 1,50-1,60

☐ 1,60-1,70 ☐ 1,70-1,80 ☐ über 1,80

5. Sind Sie Rechts- oder Linkshänder? [links/rechts]

☐ Linkshänder ☐ Rechtshänder

6. Haben Sie Schlafstörungen? Wenn ja, während welcher Schicht?

☐ Wechselschicht (Früh-/Spätschicht)

☐ nur Frühschicht

☐ nur Spätschicht

☐ nur Nachtschicht

☐ nur Samstagsarbeit/Sonntagsarbeit

☐ Sonstige:

.....

Bogen 2: Auskünfte zur Arbeitsorganisation**7. In welchem Schichtsystem sind Sie beschäftigt?**☐ Wechselschicht (Früh-/Spätschicht)☐ nur Frühschicht☐ nur Spätschicht☐ nur Nachtschicht☐ nur Samstagsarbeit/Sonntagsarbeit☐ Sonstige:
.....**8. Welche durchschnittliche Wochenarbeitszeit haben Sie [in Stunden]?**☐ <5 ☐ 5-10 ☐ 10-15 ☐ 15-20☐ 25-25 ☐ 25-30 ☐ 30-35 ☐ 35-40**9. Wie viele Jahre arbeiten Sie schon im Akkord?**☐ <5 ☐ 5-10 ☐ 10-15 ☐ 15-20☐ 25-25 ☐ 25-30 ☐ 30-35 ☐ 35-40**10. Treiben Sie Sport? Wenn ja, wie viele Stunden pro Woche?**☐ <1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4☐ 5 ☐ 6-7 ☐ 8-9 ☐ >10**11. Rauchen Sie? Wenn ja, wie viele Zigaretten pro Tag?**☐ <5 ☐ 5-10 ☐ 10-20 ☐ 20-30☐ 30-40 ☐ >40

12. Haben Sie schulpflichtige Kinder? Wenn ja, wie viele?

- ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ >4

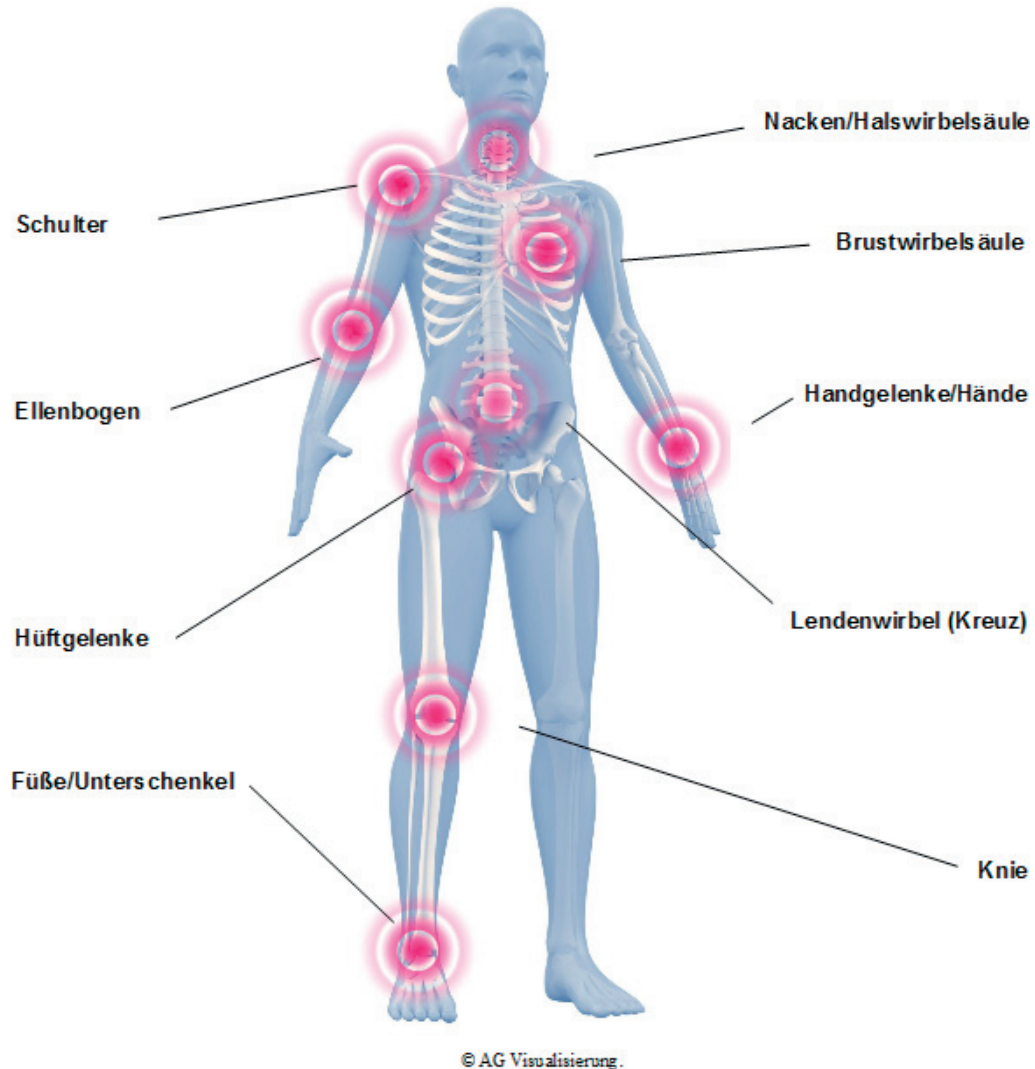
13. Haben Sie

- ☐ psychische Beschwerden?
- ☐ physiologische Beschwerden ?

14. Welcher Arbeitsgang ist Ihrer Meinung nach hierfür der Verursacher?

- ☐ Papierbalg einlegen
- ☐ Filterelement entnehmen
- ☐ Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten
- ☐ Vorvlies auflegen
- ☐ Filterelement auflegen
- ☐ Filterelement verpacken
-

Bogen 3: Lokalisierung von physiologischen Beschwerden



Abgefragt werden neun verschiedene Körperregionen. Bestehen keine körperlichen Beschwerden, ist dieser Bogen nicht zu bearbeiten!

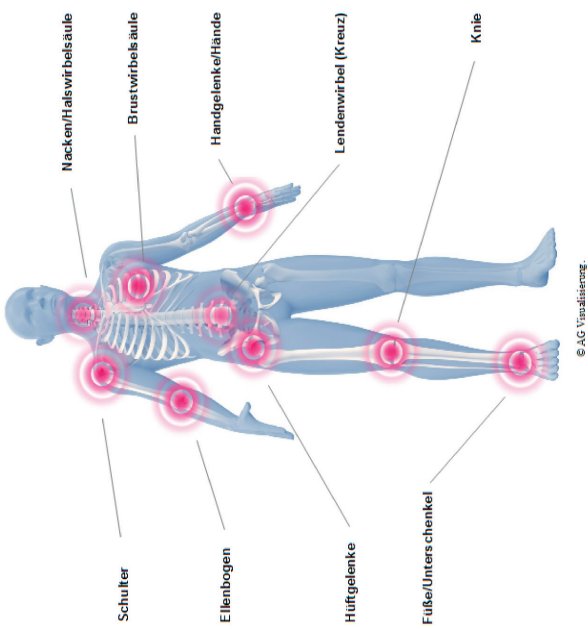
Bitte **bearbeiten Sie in der Tabellenübersicht alle** Bereiche, in denen Sie schon einmal Schmerzen oder Beschwerden aufgrund Ihrer beruflichen Tätigkeit (Schichtarbeit in Kombination mit dem Akkord) hatten.

Es sind natürlich Mehrfachmarkierungen zulässig. Oftmals überschneiden sich bestimmte Körperregionen. **Alle lokalisierten Bereiche sind in Bogen 4 zu detaillieren!**

Übersicht der betroffenen Beschwerdebereiche

Beschwerderegion	Beschwerden ?	Nach wie vielen Berufsjahren hatten Sie erste Beschwerden?					Welchem Arbeitsgang ordnen Sie die Beschwerden zu?					
		1-2 Jahre	2-5 Jahre	5-10 Jahre	>10 Jahre		AG 1	AG 2	AG 3	AG 4	AG 5	AG 6
Nacken/Halswirbelsäule												
Schulter												
Brustwirbelsäule												
Ellenbogen												
Lendenwirbel (Kreuz)												
Hüftgelenke												
Knie												
Füße/Unterschenkel												
Handgelenke/Hände												

- AG 1 (Arbeitsgang 1): Papierbalg einlegen
- AG 2 (Arbeitsgang 2): Filterelement entnehmen
- AG 3 (Arbeitsgang 3): Filterelement am Dichtungsrand nachbearbeiten
- AG 4 (Arbeitsgang 4): Vorwies auflegen
- AG 5 (Arbeitsgang 5): Filterelement auflegen
- AG 6 (Arbeitsgang 6): Filterelement verpacken



* betroffene Felder sind mit einem „x“ zu markieren!

Bogen 4: Detaillierung der Beschwerderegionen

Alle Beschwerdebereiche, die in Bogen 3 angegeben wurden, sind nun zu detaillieren!

Nicht betroffene Bereiche sind nicht bearbeitungsrelevant !

1. Beschwerdebereich: Nacken/Halswirbelsäule

1.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein ☐ Ja

1.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

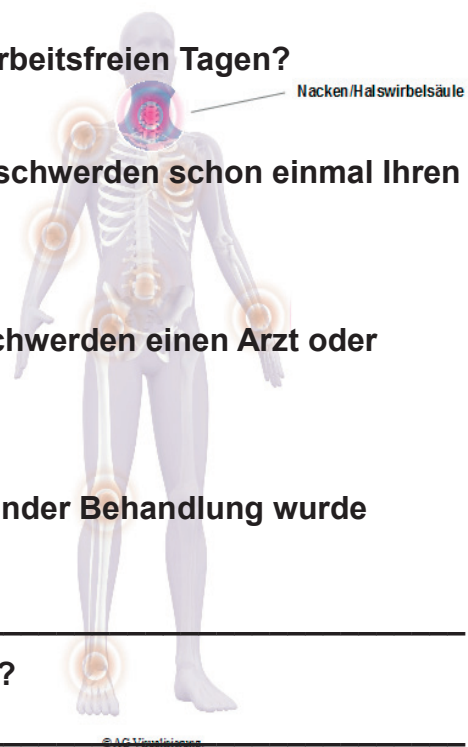
☐ Nein ☐ Ja

1.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein ☐ Ja

1.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

1.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?



2. Beschwerdebereich: Schulter

2.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein

☐ Ja

2.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

☐ Nein

☐ Ja

2.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein

☐ Ja

2.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

2.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?

© AG Visualisierung.

3. Beschwerdebereich: Brustwirbelsäule

3.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein

☐ Ja

3.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

☐ Nein

☐ Ja

3.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein

☐ Ja

3.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

3.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?

© AG Visualisierung.

4. Beschwerdebereich: Ellenbogen

- 4.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?
☐ Nein ☐ Ja
- 4.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?
☐ Nein ☐ Ja
- 4.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?
☐ Nein ☐ Ja
- 4.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?
-
- 4.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?
-

Ellenbogen

© AG Visualisierung.

5. Beschwerdebereich: Lendenwirbel (Kreuzregion)

- 5.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?
☐ Nein ☐ Ja
- 5.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?
☐ Nein ☐ Ja
- 5.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?
☐ Nein ☐ Ja
- 5.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?
-
- 5.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?
-

Lendenwirbel (Kreuz)

© AG Visualisierung.

6. Beschwerdebereich: Hüftgelenke

6.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein ☐ Ja

6.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

☐ Nein ☐ Ja

6.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein ☐ Ja

Hüftgelenke

6.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

6.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?

© AG Visualisierung

7. Beschwerdebereich: Knie

7.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein ☐ Ja

7.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

☐ Nein ☐ Ja

7.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein ☐ Ja

Knie

7.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

© AG Visualisierung

7.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?

8. Beschwerdebereich: Füße/Unterschenkel

8.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein ☐ Ja

8.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

☐ Nein ☐ Ja

8.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein ☐ Ja

8.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

Füße/Unterschenkel



© AG Visualisierung

8.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?

9. Beschwerdebereich: Handgelenke/Hände

9.1 Haben Sie Schmerzen auch an arbeitsfreien Tagen?

☐ Nein ☐ Ja

9.2 Mussten Sie aufgrund dieser Beschwerden schon einmal Ihren Arbeitsplatz wechseln?

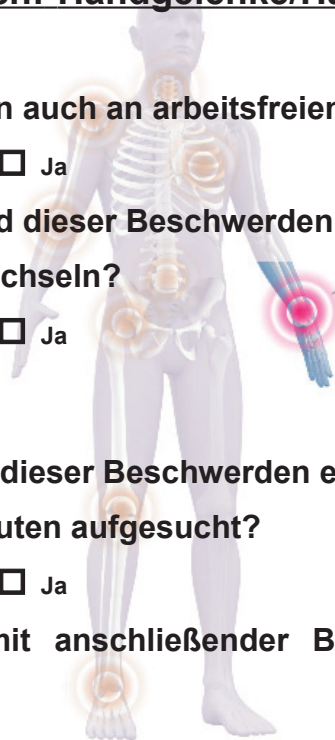
☐ Nein ☐ Ja

9.3 Haben Sie bezüglich dieser Beschwerden einen Arzt oder Physiotherapeuten aufgesucht?

☐ Nein ☐ Ja

9.4 Welche Diagnose mit anschließender Behandlung wurde angeordnet?

Handgelenke/Hände



© AG Visualisierung

9.5 Weitere Anmerkungen Ihrerseits?